



TUGAS AKHIR - RE 141581

Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

DEA GHIOVANI RAISSA
3313100089

Dosen Pembimbing
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RE 141581

**Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah
Laundry dengan Menggunakan Eceng
Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu
Apu (*Pistia stratiotes*)**

**DEA GHIOVANI RAISSA
3313100089**

**Dosen Pembimbing
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - RE 141581

Phytoremediation of Water Contaminated by Laundry Wastewater Using Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) and Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

DEA GHIOVANI RAISSA
3313100089

Supervisor
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

**FITOREMEDIASI AIR YANG TERCEMAR LIMBAH
LAUNDRY DENGAN MENGGUNAKAN ECENG GONDOK
(*Eichhornia crassipes*) dan KAYU APU (*Pistia stratiotes*)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DEA GHIOVANI RAISSA
NRP 3313 100 089

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Bieby Voijsant Tangahu, ST., MT., Ph.D
NIP. 19710818 199703 2 001



Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Nama Mahasiswa : Dea Ghiovani Raissa
NRP : 3313100089
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Bieby Voijsant Tangahu, ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

Usaha *laundry* saat ini berkembang terutama di daerah pemukiman seperti di Surabaya yang dimana terdapat beberapa di sekitar area seperti di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dampak negatif dari limbah *laundry* yaitu adanya pencemar limbah cair yang dihasilkan dari sisa proses pencucian baju sehingga menyebabkan kekeruhan dan menghalangi sinar matahari masuk ke dalam air yang akan mengakibatkan eutrofikasi. Kandungan bahan pencemar yang terdapat dalam air limbah laundry dapat menimbulkan dampak negatif pada kehidupan biota sehingga berakibat terjadinya pencemaran pada badan air tersebut. Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan penelitian tentang pengolahan limbah yang efektif, efisien, dan tidak membutuhkan biaya mahal yaitu dengan teknik fitoremediasi. Tumbuhan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Eceng gondok dan Kayu apu. Tumbuhan tersebut dapat hidup di lingkungan tercemar dan cocok dimanfaatkan untuk pengolahan limbah.

Variabel yang digunakan berupa variasi jenis tumbuhan yaitu Eceng gondok dan Kayu apu, serta variasi kerapatan tumbuhan yaitu 10 mg/cm², 20 mg /cm², dan 30 mg /cm² Eceng gondok, sedangkan Kayu apu 14 mg /cm², 25 mg /cm², dan 35 mg /cm². Limbah cair yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah *laundry* yang didapatkan pada usaha *laundry* di Surabaya. Parameter yang diuji pada penelitian ini meliputi BOD, COD, fosfat, suhu dan pH.

Penelitian pendahuluan yang dilakukan berupa aklimatisasi tumbuhan dan *range finding test* untuk menentukan konsentrasi air limbah *laundry* yang akan digunakan dalam penelitian. Uji fitoremediasi dilakukan selama 20 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan terbesar dalam menyisihkan *removal* adalah dengan kerapatan tumbuhan 30 mg/cm² Eceng gondok menyisihkan BOD sebesar 98% atau setara dengan 8 mg/L, COD sebesar 96% atau setara dengan 19 mg/L, fosfat sebesar 99% atau setara dengan 0,07 mg/L dan kerapatan tumbuhan 35 mg/cm² Kayu apu mampu menyisihkan BOD sebesar 98% atau setara dengan 6 mg/L, COD sebesar 96% atau setara dengan 17 mg/L, fosfat sebesar 99% atau setara dengan 0,07 mg/L.

Kata Kunci: BOD, COD, Deterjen, Eceng gondok, Fitoremediasi, Fosfat, Kayu apu

Phytoremediation of Water Contaminated by Laundry Wastewater Using Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) and Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Student Name : Dea Ghiovani Raissa
NRP : 3313100089
Major : Environmental Engineering
Supervisor : Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D.

ABSTRACT

Laundry business are appearing everywhere and booming, especially in residential areas like Surabaya where there are a lot of university neighbourhoods, such as ITS. Wastewater from laundry activities usually flow directly towards drainage channels and finally ending up in bodies of water. The negative effect of laundry wastewater is the presence of liquid pollutants coming from the laundry process which makes the body of water murky and blocks sunlight, causing eutrophication. This has a negative effect on water biota and pollutes the water. From the problem stated above, research on effective, efficient, and inexpensive waste treatment method is needed. One such method is phytoremediation which uses the aquatic water hyacinth and water cabbage. The two aquatic plants thrive in polluted water and can be used for wastewater treatment.

The research uses 2x3 variables which are the type of plants and density of the plants. The plants used are Kayu apu (*Pistia stratiotes*) and Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Density of the plants that will be tested in the research is 10 mg/cm², 20 mg/cm², and 30 mg/cm² for Eceng gondok and 14 mg/cm², 25 mg/cm², and 35 mg/cm² for Kayu apu. The wastewater used will be from laundry activities in Surabaya. The parameters that will be measured in this research are BOD, COD, phosphate, temperature, and acidity level (pH). Supporting parameters such as temperature and pH are measured when taking samples, and plant biomass measurement will be done before and after the research.

The preliminary research undertaken is plant acclimatization and range finding test to determine the

concentration of laundry wastewater which will be used in the research. Phytoremediation tests will be done for 20 days.

Results show that *Eceng gondok* with a density of 30 mg/cm² has the highest removal of pollutants with 98% of BOD removed or equal to 8 mg/L, 96% of COD or equal to 19 mg/L, and 99% of phosphate or equal to 0.07 mg/L. *Kayu apu* with density of 35 mg/cm² can remove 98% of BOD or equal to 6 mg/L, 96% of COD or equal to 17 mg/L, and 99% of phosphate or equal to 0.07 mg/L.

Key Words: BOD, COD, Detergent, *Eceng gondok*, Phytoremediation, Phosphate, *Kayu apu*

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan pada Allah SWT karena atas Rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan seminar kemajuan dengan judul “Fitoremediasi Air yang Tercemar Limbah Laundry dengan Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)”

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan seminar kemajuan, saya menyampaikan terima kasih kepada,

1. Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan.
2. Bapak Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT, Bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi S.Si, MT., dan Ibu Harmin Sulistyaning Titah, ST, MT, PhD., selaku dosen penguji tugas akhir, terima kasih atas saran serta bimbingannya.
3. Keluarga saya yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran tugas akhir saya.
4. Ibu Hurun In, Bapak Hadi Sutrisno selaku laboran Teknik Lingkungan yang senantiasa membantu dan memfasilitasi ketika di laboratorium.
5. Amanda Herrena, Anisa Nanhidayah, Qory Constantya, Nur Baiti Danial Putri, Gusti Ayu Khrisna, dan Aisyah Ahmad yang sangat membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Teman-teman angkatan 2013 yang selalu memberikan semangat dan siap membantu saya

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Air Limbah.....	5
2.1 Detergen dan Surfaktan.....	6
2.1.1 Detergen.....	6
2.1.2 Surfaktan	7
2.2 Limbah Laundry	8
2.3 Unsur Hara yang Dibutuhkan oleh Tumbuhan.....	10
2.4 Fitoproses pada Tumbuhan	11
2.5 <i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	12
2.6 <i>Biological Oxygen Demand (BOD)</i>	14
2.7 Fosfat.....	16
2.8 Proses Fotosintesis	17

2.9	Tumbuhan Eceng Gondok (<i>Eichornia crassipes</i>)	19
2.10	Tumbuhan Kayu Apu (<i>Pistia stratiotes</i>)	20
2.11	Studi Terdahulu	23
2.11.1	Eceng Gondok sebagai Agen Fitoremediasi	23
2.11.2	Kayu Apu sebagai Agen Fitoremediasi	23
2.11.3	Pengaruh Kerapatan Tumbuhan dalam Fitoremediasi	24
BAB III METODE PENELITIAN		25
3.1	Umum	25
3.2	Kerangka Penelitian	25
3.3	Tahapan Penelitian	26
3.3.1	Ide Tugas Akhir	28
3.3.2	Studi Literatur	28
3.3.3	Variabel dan Parameter penelitian	28
3.3.4	Persiapan Alat dan Bahan	29
3.3.5	Penelitian Pendahuluan	33
3.3.6	Pelaksanaan Penelitian Inti	35
3.3.6.	Analisis Parameter Penelitian	36
3.3.7	Analisis dan Pembahasan	37
3.3.8	Kesimpulan dan Saran	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Uji Karakteristik Limbah	39
4.2	Tahap Propagasi Tumbuhan	39
4.3	Tahap Aklimatisasi	44
4.4	Range Finding Test (RFT)	45
4.4.1	Range Finding Test 1	45
4.4.2	Range Finding Test 2	51
4.5	Uji Fitoremediasi Limbah Laundry	56

4.5.1	Analisa Parameter COD	59
4.5.2	Analisa Parameter BOD.....	64
4.5.3	Analisa Rasio BOD/COD	68
4.5.4	Analisa Parameter Fosfat	71
4.5.5	Analisa pH dan Suhu	75
4.5.6	Analisa Morfologi Tumbuhan	76
4.5.7	Uji Statistik.....	80
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		83
5.1	Kesimpulan.....	83
5.2	Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....		84
LAMPIRAN.....		91

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mekanisme Fitoremediasi.....	13
Gambar 2. 2 Eceng Gondok.....	20
Gambar 2. 3 Kayu Apu	21
Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian.....	27
Gambar 3. 2 Reaktor uji fitoremediasi tumbuhan kayu apu	31
Gambar 3. 3 Reaktor uji fitoremediasi tumbuhan eceng gondok	32
Gambar 3. 4 Reaktor RFT tumbuhan eceng gondok.....	32
Gambar 3. 5 Reaktor RFT tumbuhan kayu apu.....	32
Gambar 4. 1 Tunas baru Kayu apu	40
Gambar 4. 2 Pengamatan Karakteristik Fisik Kayu apu	40
Gambar 4. 3 Fase generatif Kayu apu ditandai dengan adanya bunga	41
Gambar 4. 4 PerkembanganLebar Daun Tumbuhan Kayu Apu	41
Gambar 4.5 Perkembangan Jumlah Daun Tumbuhan Kayu Apu.....	42
Gambar 4. 6 Pengamatan Fisik Tumbuhan Eceng Gondok	42
Gambar 4. 7 MunculnyaTunas Baru pada Eceng Gondok	43
Gambar 4. 8 Fase generatif Eceng Gondok ditandai.....	43
Gambar 4. 9 Perkembangan Lebar Daun Eceng Gondok	44
Gambar 4. 10 Pertumbuhan Tinggi tumbuhan Eceng Gondok...	44
Gambar 4. 11 Pengamatan Perubahan Fisik	47
Gambar 4. 12 Efek Kematian Tumbuhan Eceng gondok	50
Gambar 4. 13 Efek Kematian Tumbuhan Kayu apu	51
Gambar 4. 14 Pengamatan Perubahan Fisik	52
Gambar 4. 15 Efek Kematian Tumbuhan Kayu apu	55
Gambar 4. 16 Efek Kematian Tumbuhan Eceng gondok	56
Gambar 4. 17 Removal COD Tumbuhan Eceng Gondok pada Waktu Gelap.....	61
Gambar 4. 18 Removal COD Tumbuhan Eceng Gondok pada Waktu Terang	61
Gambar 4. 19 Removal COD Tumbuhan Kayu Apu pada Waktu Gelap	62
Gambar 4. 20 Removal COD Tumbuhan Kayu Apu pada Waktu Terang	62
Gambar 4. 21 Removal BOD Tumbuhan Eceng Gondok pada Waktu Gelap.....	65

Gambar 4. 22 Removal BOD Tumbuhan Eceng Gondok pada Waktu Terang	65
Gambar 4. 23 Removal BOD Tumbuhan Kayu Apu pada Waktu Gelap	66
Gambar 4. 24 Removal BOD Tumbuhan Kayu Apu pada Waktu Terang	66
Gambar 4. 25 Rasio BOD/COD Tumbuhan Eceng gondok pada Waktu Gelap	69
Gambar 4. 26 Rasio BOD/COD Tumbuhan Eceng gondok pada Waktu Terang	70
Gambar 4. 27 Rasio BOD/COD Tumbuhan Kayu apu pada Waktu Gelap	70
Gambar 4. 28 Rasio BOD/COD Tumbuhan Kayu apu pada Waktu Terang	71
Gambar 4. 29 Penyisihan Fosfat tumbuhan Eceng gondok pada Waktu Gelap	72
Gambar 4. 30 Penyisihan Fosfat tumbuhan Eceng gondok Waktu Terang	73
Gambar 4. 31 Penyisihan Fosfat tumbuhan Kayu apu pada Waktu Gelap	73
Gambar 4. 32 Penyisihan Fosfat tumbuhan Kayu apu pada Waktu Terang	74
Gambar 4. 33 Tinggi Tanaman Eceng gondok	78
Gambar 4. 34 Lebar daun Tanaman Eceng gondok	78
Gambar 4. 35 Lebar daun Tanaman Kayu apu	79
Gambar 4. 36 Jumlah daun Tanaman Kayu apu	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Laundry	9
Tabel 3. 1 Rincian Reaktor Uji RFT Tumbuhan Eceng Gondok .	29
Tabel 3. 2 Rincian Reaktor Uji RFT Tumbuhan Kayu Apu	30
Tabel 3. 3 Rincian Reaktor Uji Fitoremediasi	30
Tabel 3. 4 Parameter Penelitian dan Metode Uji	31
Tabel 3. 5 Rincian Reaktor Uji Fitoremediasi	36
Tabel 4. 1 Hasil Uji Karakteristik Limbah <i>Laundry</i>	39
Tabel 4. 2 Pengamatan Fisik Kayu Apu	47
Tabel 4. 3 Pengamatan Fisik Eceng Gondok	48
Tabel 4. 4 Hasil Range Finding Test Eceng gondok.....	49
Tabel 4. 5 Hasil Range Finding Test Kayu apu	50
Tabel 4. 6 Pengamatan Fisik Kayu apu.....	53
Tabel 4. 7 Pengamatan Fisik Eceng Gondok	53
Tabel 4. 8 Hasil Range Finding Test Kayu Apu	54
Tabel 4. 9 Hasil Range Finding Test Kayu Apu	55
Tabel 4. 10 Variasi Kerapatan Tumbuhan	59
Tabel 4. 11 Hasil Uji Anova Parameter BOD,COD,fosfat	81

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM.....	91
LAMPIRAN B DATA HASIL ANALISA.....	97
LAMPIRAN C DOKUMENTASI PENELITIAN.....	125

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini jasa pencucian pakaian atau *laundry* berkembang dimana-mana terutama di daerah pemukiman, dimana banyak masyarakat yang tidak sempat mencuci pakaiannya sendiri karena kesibukannya. Air limbah yang dihasilkan langsung disalurkan ke saluran drainase yang pada akhirnya akan mengalir ke badan air. Debit limbah cair yang dihasilkan berfluktuasi tergantung jumlah pelanggan yang mencuci pakaiannya dengan rata-rata effluent sebanyak 550 L/hari (Puspitahati, 2012). Dampak negatif dari limbah *laundry* yaitu adanya pencemar limbah cair yang dihasilkan dari sisa proses pencucian baju sehingga mengakibatkan kekeruhan dan menghalangi sinar matahari masuk ke dalam air.

Kandungan bahan pencemar yang terdapat dalam air limbah *laundry* dapat menimbulkan dampak negatif pada kehidupan biota sehingga berakibat terjadinya pencemaran pada badan air tersebut. Bahan aktif yang banyak terkandung pada pelembut pakaian dan deterjen adalah *kwaterner ammonium klorida*, *LAS*, *sodium dodecyl benzene sulfonate*, *natrium karbonat*, *natrium fosfat*, *alkilbenzena sulfonate*. Bahan-bahan tersebut merupakan bahan yang ramah lingkungan dan biodegradable. Namun bila keberadaannya di badan air berlebihan, limbah *laundry* berpotensi mencemari badan air. Karena selain mengandung bahan-bahan aktif tersebut, limbah *laundry* juga kaya kandungan fosfat yang mencapai 253,03 mg/L sebagai P total (Puspitahati, 2012). Hal ini dapat berdampak pada menurunnya kualitas badan air tersebut sehingga dapat mengakibatkan menurunnya daya dukung yang dimiliki oleh badan air. Menurut US-EPA (1999) hal tersebut dapat menyebabkan eutrofikasi dimana badan air menjadi kaya akan nutrisi terlarut, menurunnya kandungan oksigen terlarut dan kemampuan daya dukung badan air terhadap biota air.

Mengingat kondisi badan air semakin hari semakin buruk akibat perilaku manusia, maka sudah seharusnya bila limbah *laundry* menjalani pengolahan dahulu sebelum dibuang ke badan air. Hal ini diharapkan agar sungai sebagai badan air pertama yang memperoleh beban pencemar tidak semakin menurun kualitasnya. Pengolahan dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya yaitu dengan memanfaatkan tumbuhan air untuk menanggulangi jumlah pencemar dengan cara menyerap, mengumpulkan dan mendegradasi bahan-bahan pencemar tertentu yang terdapat dalam limbah tersebut yang dikenal dengan fitoremediasi. Dari hasil penelitian Effendi (1988) menunjukkan bahwa eceng gondok mampu mengolah limbah cair dari buangan industri tepung tapioka, hasil yang diperoleh adalah eceng gondok mampu menurunkan BOD sebesar 76,38%-79,49%, nilai kekeruhan menurun tajam sebesar 80,77%-84,62% dan meningkatkan *Dissolved Oxygen* (DO). Berdasarkan kemampuan tersebut, maka eceng gondok diduga sangat efektif dalam meremediasi kawasan yang tercemar.

Kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) adalah salah satu tumbuhan fitoremediator yaitu tumbuhan yang memiliki kemampuan untuk mengolah limbah, baik itu berupa logam berat, zat organik maupun anorganik. Manfaat tumbuhan air seperti kayu apu dapat mengurangi konsentrasi limbah cair dalam limbah dapat dilakukan dengan proses fitoremediasi (Mamonto, 2013). Dari hasil penelitian oleh Ulfen (2000) diketahui bahwa tanaman air seperti kayu apu dapat menurunkan kadar pencemaran limbah cair.

Maka tumbuhan air yang dapat digunakan yaitu Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*). Tumbuhan ini hidup dari menyerap udara dan unsur hara yang terkandung dalam air, tumbuhan ini dinamakan *floating plant* karena akar tanaman tidak tertanam melainkan mengapung di dalam air (Haridjaja *et al.*, 2011).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah

1. Bagaimana efektivitas tanaman Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu apu (*Pistia*

stratiotes) dalam menurunkan kandungan limbah *laundry* ?

2. Bagaimana pengaruh kerapatan tumbuhan terhadap efisiensi penurunan kandungan limbah *laundry* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah

1. Menentukan kemampuan Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu apu (*Pistia stratiotes*) dalam menurunkan kandungan organik dalam limbah *laundry*.
2. Menentukan kerapatan yang optimum pada tumbuhan Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu apu (*Pistia stratiotes*) terhadap penurunan limbah *laundry*.

1.4 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi oleh batasan batasan ruang lingkup yang antara lain adalah

1. Air limbah *laundry* yang digunakan adalah air limbah *laundry* dari usaha *laundry* di Surabaya.
2. Jenis tanaman uji yaitu Eceng Gondok dan Kayu Apu.
3. Parameter yang diteliti selama masa penelitian yaitu:
 - pH
 - suhu
 - Fosfat
 - BOD₅
 - COD
 - Morfologi tumbuhan
4. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jenis tanaman dan kerapatan tanaman.
5. Penelitian dilakukan di greenhouse dan analisis parameter dilakukan di Laboratorium Remediasi Lingkungan dan Laboratorium Pemulihan Air Teknik Lingkungan ITS Surabaya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Menambah informasi kemampuan tanaman Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu apu (*Pistia stratiotes*) dalam meningkatkan kualitas limbah *laundry*.
2. Dapat menjadi pertimbangan dalam usaha mengatasi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh air limbah *laundry*, serta mendorong penelitian lain untuk melakukan kegiatan yang berhubungan dengan pengolahan limbah *laundry*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah

Air limbah merupakan sisa air yang digunakan dalam industri atau rumah tangga yang mengandung zat tersuspensi dan zat terlarut. Air limbah adalah air yang dikeluarkan oleh industri akibat proses produksi dan pada umumnya sulit diolah karena biasanya mengandung beberapa zat seperti: pelarut organik zat padat terlarut, suspended solid, minyak dan logam berat (Metcalf dan Eddy, 1991). Menurut SK Gubernur Jatim No. 45 Tahun 2002, limbah cair adalah limbah dalam wujud cair yang dihasilkan oleh kegiatan industri atau kegiatan usaha lainnya yang dibuang ke lingkungan yang diduga dapat menurunkan kualitas lingkungan. Berdasarkan sumbernya, air limbah dibedakan menjadi:

1. Air limbah rumah tangga (domestik)
Air limbah domestik adalah hasil buangan dari perumahan, bangunan, perdagangan, perkantoran, dan sarana sejenisnya.
2. Air limbah perkotaan (*municipal wastewater*)
Air limbah yang berasal dari tempat tinggal, kantor, institusi dan lain-lain. Kemungkinan terdapat groundwater, air permukaan, air hujan dan limbah industri. (Puspitahati, 2010)
3. Air limbah industri
Air limbah industri adalah buangan hasil proses/sisa dari suatu kegiatan/usaha yang berwujud cair dimana kehadirannya pada suatu saat dan tempat tidak dikehendaki lingkungannya karena tidak mempunyai nilai ekonomis sehingga cenderung untuk dibuang (Asmadi, 2012)

Air limbah harus diolah dahulu sebelum dibuang ke badan air, karena selain tidak sedap dipandang mata, air buangan ini sangat berbahaya (Puspitahati, 2010). Sehingga pengolahan air limbah bertujuan untuk mengurangi penyebaran penyakit menular yang disebabkan oleh organisme patogen yang ada di dalam air

limbah dan mencegah polusi pada air permukaan maupun air tanah. Air limbah umumnya diolah dengan menggunakan oksigen di dalamnya sehingga bakteri dapat memanfaatkan air limbah ini sebagai makanan.

2.1 Detergen dan Surfaktan

2.1.1 Detergen

Detergen adalah senyawa yang berasal dari bahan kimia organik sintetik (terutama surfaktan) yang memiliki daya yang kuat (Ying, 2006). Detergen adalah media pembersih sintetik yang terdiri dari senyawa-senyawa yang mampu melepaskan kotoran, minyak dan membunuh bakteri yang berguna serta mendorong pertumbuhan alga jika terdapat dalam limbah yang masuk ke dalam badan air (Zoller, 2009). Deterjen harus dihindari memasuki ke badan perairan untuk menghindari eutrofikasi lingkungan perairan, karena deterjen mencegah pertumbuhan mikroorganisme yang bersifat patogen bagi spesies di alam dengan beban yang lebih tinggi di sungai (El-Gawad, 2014). Deterjen memegang peran penting terhadap peningkatan pencemaran yang berasal dari air limbah pemukiman daerah dalam bentuk deterjen rumah tangga, limpasan pertanian dalam bentuk herbisida dan insektisida dari industri tertentu (Vinod *et al.*, 2012). Deterjen terdiri dari :

- Surfaktan (*surface active agent*) merupakan bahan utama deterjen
- Builder (Permbentuk) berfungsi meningkatkan efisiensi pencuci dari surfaktan dengan cara menon-aktifkan mineral penyebab kesadahan air
- Filler (pengisi) adalah bahan tambahan deterjen yang tidak mempunyai kemampuan meningkatkan daya cuci, tetapi menambah kuantitas
- Aditif adalah bahan suplemen / tambahan untuk membuat produk lebih menarik, misalnya pewangi, pelarut, pemutih, pewarna dst, tidak berhubungan langsung dengan daya cuci deterjen. Additives ditambahkan lebih untuk maksud komersialisasi produk.

Pada awalnya deterjen dikenal sebagai alat yang digunakan untuk membersihkan pakaian. Namun dengan majunya perkembangan teknologi, penggunaan deterjen tidak hanya sebatas produk pembersih pakaian saja tetapi juga menjadi sebuah produk yang lebih luas lagi, seperti:

1. *Personal cleaning product*
Sebagai produk pembersih bagian tubuh seperti shampoo, pasta gigi, sabun mandi, sabun cuci tangan.
2. *Laundry*
Sebagai bahan pencuci pakaian, merupakan produk deterjen yang paling dikenal masyarakat.
3. *Dishwashing product*
Sebagai pencuci alat-alat rumah tangga baik untuk penggunaan manual maupun mesin pencuci piring.
4. *Household cleaner*
Sebagai media pembersih rumah seperti pembersih lantai.
(Puspitahati, 2010)

2.1.2 Surfaktan

Surfaktan merupakan suatu molekul yang sekaligus memiliki gugus hidrofilik dan gugus lipofilik sehingga dapat mempersatukan campuran yang terdiri dari air dan minyak. Surfaktan adalah bahan aktif permukaan. Aktivitas surfaktan diperoleh karena sifat ganda dari molekulnya. Molekul surfaktan memiliki bagian polar yang sukar akan air (hidrofilik) dan bagian non polar yang sukar akan minyak/lemak (lipofilik). Bagian polar molekul surfaktan dapat bermuatan positif, negatif atau netral. Sifat rangkap ini yang menyebabkan surfaktan dapat diadsorpsi pada antar muka udara-air, minyak-air dan zat padat-air, membentuk lapisan tunggal dimana gugus hidrofilik berada pada fase air dan rantai hidrokarbon ke udara, dalam kontak dengan zat padat ataupun terendam dalam fase minyak. Umumnya bagian non polar (lipofilik) adalah merupakan rantai alkil yang panjang, sementara bagian yang polar (hidrofilik) mengandung gugus hidroksil (Jatmika, 1998). Berdasarkan muatannya surfaktan dibagi menjadi empat golongan yaitu:

1. Surfaktan anionik yaitu surfaktan yang bagian alkilnya terikat pada suatu anion. Karakteristiknya yang hidrofilik

disebabkan karena adanya gugus ionik yang cukup besar, yang biasanya berupa gugus sulfat atau sulfonat Contohnya surfaktan anionik diantaranya *linier alkilbenzen sulfonat* (LAS), alkohol sulfat (AS), alkohol ester sulfat (AES), alfa olein sulfonat (AOS), parafin (*secondary alkane sulfonat*, SAS) dan metil ester sulfonat (MES).

2. Surfaktan kationik yaitu surfaktan yang bagian alkilnya terikat pada suatu kation. Surfaktan jenis ini memecah dalam media cair, dengan bagian kepala surfaktan kationik bertindak sebagai pembawa sifat aktif permukaan. Contohnya garam alkil trimetil ammonium, garam dialkil- dimetil ammonium dan garam alkil dimetil benzil ammonium.
3. Surfaktan nonionik yaitu surfaktan yang bagian alkilnya tidak bermuatan. Contohnya ester gliserol asam lemak, ester sorbitan asam lemak, ester sukrosa asam lemak, polietilena alkil amina, glukamina, alkil poliglukosida, mono alkanol amina, dialkanol amina dan alkil amina oksida
4. Surfaktan amfoter yaitu surfaktan yang bagian alkilnya mempunyai muatan positif dan negatif. Contohnya surfaktan yang mengandung asam amino, betain, fosfobetain

Aplikasi surfaktan sangat luas. Beberapa contoh aplikasi surfaktan antara lain bahan utama untuk industri deterjen dan pembersih lainnya, bahan emulsifier pada industri kosmetik dan farmasi, bahan emulsifier untuk sanitasi industri pangan.

2.2 Limbah Laundry

Deterjen merupakan suatu senyawa sintesis zat aktif padat muka (*surface active agent*) yang dipakai sebagai zat pencuci yang baik untuk keperluan rumah tangga, industri tekstil, kosmetik, obat-obatan, logam, kertas, dan karet. Deterjen memiliki sifat pendispersi, pencucian dan pengemulsi. Penyusun utama senyawa ini adalah Dodecyl Benzene Sulfonat (DBS) yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan busa (Ginting, 2007). Komponen utama penyusun deterjen pada umumnya

adalah *Natrium Dodecyl Benzene Sulfonat* (NaDBS) dan *Sodium Tripolyphosphat* (STTP) yang bersifat sangat sulit terdegradasi secara alamiah (Hermawati *et al.*, 2005). Deterjen komersial yang beredar di pasaran biasa ditambahkan dengan zat selain surfaktan seperti pengharum, pemutih, enzim, zeolit, fosfat, EDTA, preservatif seperti *triclosan*, dan asam atau basa.

Deterjen merupakan bahan utama yang digunakan dalam kegiatan laundry. Bahan aktif yang banyak terkandung pada pelembut pakaian dan deterjen adalah *kwaterner ammonium klorida*, *LAS*, *sodium dodecyl benzene sulfonate*, *natrium karbonat*, *natrium fosfat*, *alkilbenzena sulfonate*. Namun bila keberadaannya di badan air berlebihan, limbah *laundry* berpotensi mencemari badan air (Puspitahati, 2012).

Bleaching agents yang banyak digunakan biasanya adalah senyawa-senyawa peroksida. Aditif merupakan bagian terkecil dari deterjen yang dapat berupa enzim, senyawa anti redeposisi seperti *Carboxyl Methyl Cellulose* (CMC), *Carboxyl Methyl Starch* (CMS), senyawa pengatur busa (*foam regulator*) seperti *Fatty Acid Amides* dan *Fatty Acid Alkanolamine* (Ciabatti *et al.*, 2009). Untuk baku mutu limbah laundry dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Laundry

Volume Air Limbah Maximum per satuan produk 16 liter/ kg cucian	
Parameter	Kadar Maxium (mg/l)
BOD5	100
COD	250
TSS	100
Minyak dan Lemak	10
MBAS (Detergen)	10
Fosfat (sebagai P2PO4)	10
pH	6-9

Sumber: Peraturan Gubernur Jatim No. 72, 2013

2.3 Unsur Hara yang Dibutuhkan oleh Tumbuhan

Salah satu faktor yang menunjang tumbuhan untuk tumbuh dengan baik adalah ketersediaan unsur hara dalam jumlah yang cukup. Jika tanah tidak dapat menyediakan unsur hara yang cukup bagi tanaman, akan menyebabkan tanaman tidak dapat tumbuh dan berproduksi secara optimal. Dibawah ini merupakan beberapa unsur hara yang dibutuhkan oleh tumbuhan.

1. Nitrogen

Nitrogen merupakan unsur hara utama bagi pertumbuhan tanaman, yang pada umumnya sangat diperlukan untuk pembentukan atau pertumbuhan bagian-bagian vegetatif tanaman seperti daun, batang dan akar, tetapi apabila terlalu banyak dapat menghambat pembuahan dan pertumbuhan pada tanaman. Fungsi nitrogen bagi tanaman adalah:

- Untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman
- Dapat menyehatkan pertumbuhan daun, daun tanaman warnanya lebih hijau, kekurangan N menyebabkan khlorosis
- Meningkatkan kadar protein dalam tubuh tanaman
- Meningkatkan perkembangbiakannya mikroorganisme di dalam tanah.

2. Fosfor

Fosfor terdapat dalam bentuk phitin, nuklein dan fosfatide, merupakan bagian dari protoplasma dan inti sel. Sebagai bagian dari inti sel sangat penting dalam pembelahan sel, demikian pula bagi perkembangan jaringan meristem, pertumbuhan jaringan muda dan akar, mempercepat pembuahan dan pemasakan buah, penyusunan protein dan lemak. Fosfor diambil tanaman dalam bentuk H_2PO_4 dan HPO_4^{2-} . Tanah yang belum mengalami tingkat hancuran iklim lanjut didominasi oleh fraksi fosfat kalsium. Tanah yang sudah mengalami tingkat hancuran iklim lanjut didominasi oleh fraksi fosfat aluminium dan fosfat besi.

3. Kalium

Kalium sangat penting dalam proses metabolisme tanaman, kalium juga penting di dalam proses fotosintesis. Bila kalium kurang pada daun, maka

kecepatan asimilasi CO_2 akan menurun. Kalium diserap dalam bentuk K^+ (terutama pada tanaman muda). Fungsi kalium adalah:

- Membantu pembentukan protein dan karbohidrat
 - Mengeraskan jerami dan bagian kayu tanaman
 - Meningkatkan resisten terhadap penyakit
 - Meningkatkan kualitas biji atau buah
- (bappeda.kendalkab.go.id)

2.4 Fitoproses pada Tumbuhan

Proses penurunan kadar zat pencemar dalam air limbah dengan menggunakan tumbuhan air merupakan kerjasama antara tumbuhan dengan mikroba yang berasosiasi dengan tumbuhan tersebut. Tumbuhan memperoleh nitrogen dari senyawa-senyawa nitrogen dalam nitrit, nitrat dan amonia (Wolverton, 1987). Menurut Mangkoedihardjo (2010), tumbuhan tidak dapat memilih apa yang akan diserap karena akarnya akan menyerap segala zat dalam cairan. Dalam kondisi demikian tumbuhan akan memberikan berbagai respon terhadap lingkungan. Zat cair dalam lingkungan media tumbuh direspon oleh tumbuhan melalui beberapa proses, yaitu:

1. Fitostabilisasi

Proses imobilisasi kontaminan dalam tanah. Naiknya kontaminan disebabkan terbawa aliran air tanah melalui proses kapiler, pada zona vadose lapisan atas tanah (zona tanah tidak jenuh air), terutama pada saat musim kemarau. Demikian juga kontaminan terbawa aliran air tanah saat musim penghujan, ketika air tanah naik mendekati permukaan tanah. Di samping itu, kontaminan naik menuju zona akar disebabkan proses transpirasi tumbuhan. Hal tersebut menyebabkan kontaminan akan terakumulasi sehingga tidak bergerak keluar zona akar.

2. Rizofiltrasi

Proses ini merujuk pada proses adsorpsi atau presipitasi kontaminan pada akar atau penyerapan ke dalam akar. Rizofiltrasi biasa terjadi untuk kontaminan yang memiliki perbedaan muatan ion dengan ion akar. Ion akar, misalnya bikarbonat, akan mengikat kation kontaminan, misalnya

logam berat. Proses ini juga terjadi karena koagulan kontaminan dan kondisi pH air tanah.

3. Rizodegradasi

Proses yang terjadi adalah penguraian kontaminan dalam tanah oleh aktivitas mikroba. Kontaminan yang mengalami proses mikrobiologis adalah kontaminan organik yang mudah terurai mikroba, yang dapat terukur sebagai BOD dan kontaminan anorganik misalnya ammonium dan nitrit serta logam berat.

4. Fitoekstraksi

Proses yang terjadi adalah penyerapan kontaminan oleh tumbuhan dari media tumbuhnya. Kontaminan yang terserap selanjutnya terdistribusi ke berbagai organ tumbuhan. Proses ini berlangsung sejalan dengan proses transpirasi.

5. Fitodegradasi

Proses ini merupakan proses penguraian kontaminan yang terserap melalui proses metabolic dalam tumbuhan. Sebagai contoh yaitu kontaminan karbondioksida udara diserap melalui stomata daun dan di dalam sel tumbuhan terurai menjadi karbohidrat

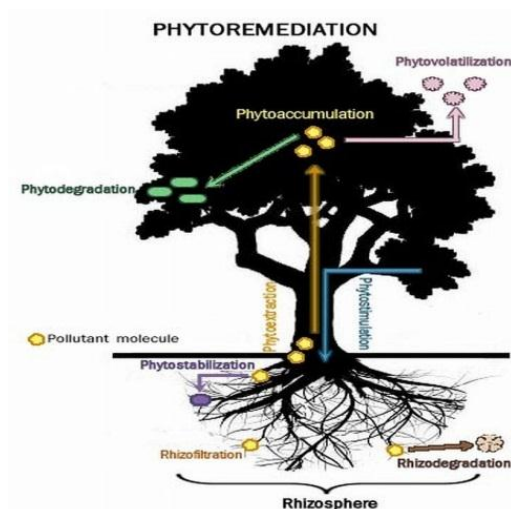
6. Fitovolatilasi

Proses pelepasan kontaminan ke udara setelah terserap tumbuhan. Kontaminan terserap dapat berubah struktur kimianya sebelum lepas ke udara. Dapat dilihat pada Gambar 2.1

2.5 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengurai seluruh bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi secara biologis menjadi CO_2 dan H_2O yang terkandung dalam air limbah. Angka COD merupakan ukuran pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air (Hariyadi, 2004). Nilai COD umumnya lebih besar dari BOD karena COD merupakan total dari bahan organik yang terkandung pada limbah, sedangkan BOD hanya merupakan

bahan organik yang mudah didegradasi (Boyd, 1990; Metcalf dan Eddy, 1991).



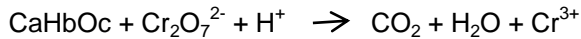
Gambar 2. 1 Mekanisme Fitoremediasi

Sumber: *Velazquez et al.*, 2012

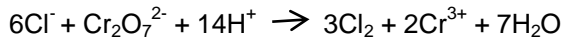
Pengukuran COD didasarkan pada kenyataan bahwa hampir semua bahan organik dapat dioksidasi menjadi karbondioksida dan air dengan bantuan oksidator kuat ($K_2Cr_2O_7$) dalam suasana asam. Dengan penggunaan dikromat sebagai oksidator, diperkirakan sekitar 95%-100% bahan organik dapat dioksidasi. Keuntungan analisis COD adalah sedikitnya waktu yang dibutuhkan untuk mengevaluasi 96% hasil uji analisis COD yang dilakukan 10 menit akan setara dengan hasil analisis BOD selama 5 hari (Nasution, 2013).

Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen

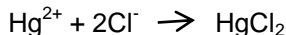
dalam air. Oksidasi terhadap bahan buangan organik akan mengikuti reaksi berikut ini:



Reaksi tersebut perlu pemanasan dan juga penambahan katalisator perak sulfat (Ag_2SO_4) untuk mempercepat reaksi. Apabila dalam bahan buangan organik diperkirakan ada unsur *Chlorida* yang dapat mengganggu reaksi maka perlu ditambahkan merkuri sulfat untuk menghilangkan gangguan tersebut. *Chlorida* dapat mengganggu karena akan ikut teroksidasi oleh kalium Dikromat sesuai dengan reaksi berikut ini:



Apabila dalam larutan air lingkungan terdapat *Chlorida*, maka oksigen yang diperlukan pada reaksi tersebut tidak menggambarkan keadaan sebenarnya. Seberapa jauh tingkat pencemaran oleh bahan buangan organik tidak dapat diketahui secara benar. Penambahan merkuri sulfat adalah untuk mengikat ion *Chlor* menjadi merkuri *Chlorida* mengikuti reaksi berikut ini:



Warna larutan air lingkungan yang mengandung bahan buangan organik sebelum reaksi oksidasi adalah kuning. Setelah reaksi oksidasi selesai maka akan berubah menjadi hijau. Jumlah oksigen yang diperlukan untuk reaksi oksidasi terhadap bahan buangan organik sama dengan jumlah kalium dikromat yang dipakai pada reaksi tersebut diatas. Makin banyak kalium dikromat yang dipakai pada reaksi oksidasi, maka makin banyak oksigen yang diperlukan. Dapat diartikan bahwa air lingkungan banyak tercemar oleh bahan buangan organik. Dengan demikian maka seberapa jauh tingkat pencemaran air lingkungan dapat ditentukan (Wardhana, 2001).

2.6 Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) merupakan sebagai pengukuran pengurangan kadar oksigen di dalam air yang dikonsumsi oleh makhluk hidup (organisme) di dalam air selama periode 5 hari pada keadaan gelap (tidak terjadi proses

fotosintesis). Pengurangan kadar oksigen ini disebabkan oleh kegiatan organisme mengkonsumsi atau mendegradasi senyawa organik dan nutrisi lain yang terdapat dalam air. Air yang relatif bersih akan mengandung mikroorganisme relatif sedikit, sehingga pengurangan oksigen di dalam air selama periode 5 hari akan sedikit, sedangkan untuk air yang tercemar dan mengandung banyak mikroorganisme bakteri akan mengkonsumsi banyak oksigen dalam proses degradasi senyawa organik dan nutrisi selama 5 hari sehingga pengurangan kadar oksigen menjadi sangat besar. Penentuan BOD sangat lambat yaitu membutuhkan waktu 5 hingga 10 hari (Situmorang, 2007).

Biological Oxygen Demand merupakan suatu analisis empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar didalam air. Angka BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan (mengoksidasi) hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air. Jika suatu badan air tercemar oleh zat-zat organik, bakteri tersebut dapat menghabiskan oksigen terlarut dalam air selama proses oksidasi tersebut yang bisa mengakibatkan kematian biota air dan keadaan menjadi anaerobik dan dapat menimbulkan bau busuk pada air tersebut. Pemeriksaan BOD didasarkan reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen didalam air dan proses tersebut berlangsung karena adanya bakteri aerobik sebagai hasil oksidasi akan terbentuk karbondioksida, air, dan amonia. Atas dasar reaksi tersebut, yang memerlukan kira-kira 2 hari dimana 50% reaksi telah tercapai, 5 hari supaya 75% dan 20 hari supaya 100% tercapai, maka pemeriksaan BOD dapat digunakan untuk menafsirkan beban pencemaran zat organik (Salmin, 2005)

Analisis BOD dan COD dari suatu limbah akan menghasilkan nilai-nilai yang berbeda karena kedua uji mengukur bahan yang berbeda. Nilai COD selalu lebih besar dari nilai BOD. Perbedaan diantara kedua nilai disebabkan oleh banyak faktor seperti bahan kimia yang tahan terhadap oksidasi biokimia tetapi tidak tahan terhadap oksidasi kimia, seperti lignin,

bahan kimia yang dapat dioksidasi secara kimia dan peka terhadap oksidasi biokimia tetapi dalam uji BOD 5 hari seperti selulosa, lemak berantai panjang, atau sel-sel mikroba, dan adanya bahan toksik dalam limbah yang mengganggu uji BOD tetapi tidak dengan uji COD.

2.7 Fosfat

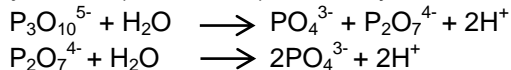
Fosfor biasanya terdapat di alam maupun air limbah dalam bentuk fosfat. Senyawa fosfat dalam air limbah dapat berupa senyawa ortofosfat, polifosfat dan fosfat organik. Fosfat organik dapat terjadi dari ortofosfat yang terlarut melalui proses biologis karena baik bakteri maupun tanaman menyerap fosfat bagi pertumbuhannya. Polifosfat banyak digunakan dalam pembuatan deterjen sintesis. Polifosfat berasal dari air buangan penduduk dan industri yang menggunakan deterjen mengandung fosfat. Komponen fosfat adalah salah satu pembentuk deterjen sebagai pembentuk buih, sedangkan fosfat organik terdapat pada air limbah domestik (tinja) dan sisa makanan. Fosfat organik dapat terbentuk dari orthofosfat yang terlarut melalui proses biologis karena baik bakteri maupun tanaman dapat menyerap fosfat bagi pertumbuhannya. Adanya fosfat dalam air limbah dapat menghambat penguraian pada proses biologis (Kim *et al.*, 2014).

Unsur fosfat (P) adalah salah satu nutrisi utama yang sangat penting bagi tanaman di samping Nitrogen (N) dan Kalium (K). Peranan fosfat yang terpenting adalah memacu pertumbuhan akar dan pembentukan sistem perakaran serta memacu pertumbuhan generatif tanaman (Nabeel, dkk 2013).

Komponen fosfat dipergunakan untuk membuat sabun sebagai pembentuk buih. Adanya fosfat dalam air limbah dapat menghambat penguraian pada proses hayati (Hakim, 2016). Fosfat kompleks mewakili kira-kira separuh dari fosfat air limbah perkotaan dan berasal dari penggunaan bahan-bahan deterjen sintesis. Fosfat kompleks mengalami hidrolisa selama pengolahan biologis menjadi bentuk ortofosfat (PO_4^{3-}). Dari konsentrasi rata-rata fosfor keseluruhan sebanyak 10mg/l berada dalam air limbah perkotaan, kira-kira 10% dibuang sebagai bahan tak terpakai selama pengendapan primer, dan 10% hingga 20% lainnya dibuang ke dalam sel-sel bakteri

selama pengolahan biologis. Sisa yang 70% dari fosfor yang masuk pada umumnya dilepaskan bersama buangan instalasi sekunder (Budi, 2006).

Limbah laundry yang dihasilkan oleh deterjen mengandung fosfat yang tinggi. Fosfat berasal dari *Sodium Tripolyphosphat* (STTP) yang merupakan salah satu bahan yang kadarnya besar dalam deterjen. *Sodium Tripolyphosphat* (STTP) ini berfungsi sebagai builder yang merupakan unsur terpenting kedua setelah surfaktan karena kemampuannya menonaktifkan mineral kesadahan dalam air sehingga deterjen dapat bekerja secara optimal. *Sodium Tripolyphosphat* (STTP) ini akan terhidrolisa menjadi PO_4 dan P_2O_7 yang selanjutnya juga terhidrolisa menjadi PO_4 (Hera, 2003). Reaksinya adalah sebagai berikut:



2.8 Proses Fotosintesis

Fotosintesis merupakan proses yang dilakukan oleh organisme autotrof, dengan menggunakan energi dari cahaya matahari yang diserap oleh klorofil untuk membuat bahan makanan dari molekul sederhana menjadi molekul yang lebih kompleks. Reaksi Fotosintesis:



Dari reaksi tersebut, maka bahan yang digunakan untuk melakukan fotosintesis yaitu karbondioksida dan air yang kemudian diubah menjadi karbohidrat dan oksigen dengan bantuan foton yang diserap oleh klorofil. Jadi fotosintesis merupakan suatu proses pembentukan atau penyusunan senyawa kompleks dari senyawa sederhana. Fotosintesis pada umumnya terjadi di organ tumbuhan yaitu daun. Hal ini dikarenakan pada daun terdapat pigmen klorofil yang merupakan salah satu komponen penting dalam fotosintesis.

Pada dasarnya, fotosintesis terjadi dalam dua tahapan. Kedua tahap itu berlangsung dalam kloroplas, namun pada dua

bagian yang berbeda. Tahap I adalah proses penangkapan energi surya atau proses-proses yang bergantung langsung pada keberadaan cahaya. Seluruh proses pada tahap ini disebut reaksi cahaya atau reaksi terang. Tahap II adalah proses-proses yang tidak bergantung langsung pada keberadaan cahaya atau bisa disebut reaksi gelap. Tahapan reaksi fotosintesis:

a. Reaksi terang

Pada tahap pertama ini terjadi proses penangkapan energi surya atau proses-proses yang bergantung pada keberadaan cahaya. Reaksi-reaksi cahaya berlangsung pada bagian grana kloroplas. Sebagian energi matahari yang diserap akan diubah menjadi energi kimia, yaitu berupa zat kimia berenergi tinggi. Selanjutnya, zat itu akan digunakan untuk proses penyusunan zat gula. Sebagian energi matahari juga digunakan untuk fotolisis air (H_2O) sehingga dihasilkan ion hidrogen (H^+) dan O_2 . Ion hidrogen tersebut akan digabungkan dengan CO_2 membentuk zat gula $(\text{CH}_2\text{O})_n$. Sedangkan O_2 -nya akan dikeluarkan

b. Reaksi gelap

Tahap II adalah proses-proses yang tidak bergantung langsung pada keberadaan cahaya. Reaksi gelap terjadi pada bagian matrik stroma kloroplas. Pada bagian ini, terdapat seluruh perangkat untuk reaksi-reaksi penyusunan zat gula. Reaksi tersebut memanfaatkan zat berenergi tinggi yang dihasilkan pada reaksi terang yaitu ATP dan NADPH. Reaksi ini disebut reaksi gelap karena tidak bergantung pada ada tidaknya cahaya sehingga dapat terjadi meskipun dalam keadaan gelap (tanpa cahaya). Reaksi penyusunan ini tidak lagi bergantung langsung pada keberadaan cahaya, walaupun prosesnya berlangsung bersamaan dengan proses-proses reaksi cahaya. Reaksi tersebut dapat terjadi karena adanya enzim-enzim fotosintesis.

2.9 Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) merupakan tumbuhan air yang mengapung dengan perakaran yang tergantung di dalam air sedangkan daun-daunnya berwarna hijau cerah berada diatas permukaan air dengan bunga warna ungu (Gambar 2.1) dan diduga eceng gondok berasal dari Brazil daerah Amazone yang kemudian menyebar keseluruh dunia (Salundik, 1998). Klasifikasi eceng gondok adalah sebagai berikut:

Divisi : *Spermatophyta*
Sub divisi: *Angiospermae*
Kelas : *Monocotyledoneae*
Suku : *Pontederiaceae*
Marga : *Eichornia*
Jenis : *Eichornia crassipes* Solms

Tanaman ini mempunyai daya adaptasi lebih besar dibandingkan dengan tumbuhan air lainnya dan umunya hidup di sungai dan kanal. Eceng gondok tergolong *pleuston*, tumbuhan air yang terbesar yang hidup mengapung bebas di permukaan air atau dapat tumbuh di tanah basah sebagai *obligate acroplesuphyte* dan kebanyakan hidup di perairan yang tenang atau mengalir lambat.

Menurut Rahman (2011) eceng gondok merupakan tumbuhan yang mengambang di air dan tumbuh subur di daerah yang beriklim tropis. Eceng gondok memiliki toleransi yang tinggi untuk hidup pada lingkungan yang tercemar. Priya dan Selvan (2014) juga menyatakan bahwa eceng gondok memiliki kemampuan biosorpsi yang tinggi untuk mengakumulasi polutan dalam air yang tercemar. Srivastava (2014) menyarankan eceng gondok untuk digunakan dalam fitoremediasi karena sifatnya yang mampu mengakumulasi polutan penyebab pencemaran air. Eceng gondok juga merupakan tumbuhan yang mudah berkembang biak dan memiliki biomassa yang besar.

Eceng gondok dapat tumbuh di kedalaman 0-30 cm. Pertumbuhan optimal terdapat pada perairan dangkal sehingga tumbuhan dapat mengapung dengan akar mencapai dasar perairan yang berlumpur. Eceng gondok berakar serabut yang tak bercabang, mempunyai tudung akar yang mencolok. Sistem

perakaran eceng gondok umumnya lebih dari 50% dari seluruh biomassa tumbuhan. Akar berfungsi untuk mengisap atau menyerap makanan dan sebagai pegangan bagi yang tumbuh di tempat-tempat yang dangkal (Nolde A, 2012). Dari hasil penelitian Effendi (1988) menunjukkan bahwa eceng gondok mampu mengolah limbah cair dari buangan industri tepung tapioka, hasil yang diperoleh adalah eceng gondok mampu menurunkan BOD sebesar 76,38%-79,49%, nilai kekeruhan menurun tajam sebesar 80,77%-84,62% dan meningkatkan *Dissolved Oxygen* (DO). Berdasarkan kemampuan tersebut, maka eceng gondok diduga sangat efektif dalam meremediasi kawasan yang tercemar. Gambar Eceng gondok disajikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Eceng Gondok

2.10 Tumbuhan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*)

Kayu apu adalah gulma air yang menggenang di permukaan dan sering dijadikan pengisi akuarium atau ornamen interior kolam air. Deskripsi tumbuhan dengan habitus herba mengapung di permukaan air dan memiliki tinggi sekitar 5-10 cm. Tubuh tidak berbatang, berdaun tunggal, berbentuk solet menyerupai mawar, ujung membulat, pangkalnya runcing, tepi daun berlekuk dengan panjang sekitar 2-10 cm, lebar 2-6 cm dengan pertulangan sejajar (monokotil) kontras dengan warna kebiruan. Klasifikasi tanaman kayu apu adalah sebagai berikut:

Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Subdivisi	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Monocotyledoneae</i>

Bangsa : *Arales*
Suku : *Araceac*
Marga : *Pistia*
Jenis : *Pistia stratiotes*

Pada gambar 2.3 menunjukkan tumbuhan kayu apu yang sering digunakan untuk pengolahan limbah



Gambar 2. 3 Kayu Apu

Makrofita adalah tumbuhan akuatik, tumbuh di dalam atau di dekat air, dan dipertimbangkan sebagai komponen penting dari ekosistem akuatik, tidak hanya sebagai sumber makanan untuk intervetabrata akuatik tetapi juga bertindak sebagai akumulator yang efisien untuk logam berat (Li *et al*, 2012). Telah diketahui dengan baik bahwa kayu apu dan makrofita terapung seperti *Eichhornia crassipes* dan *Salvina sp*. Telah dipelajari secara luas mengenai kemampuan mereka dalam mengabsorpsi kontaminan dalam air dan digunakan pada *constructed wetland* untuk mengolah air limbah. *P.stratiotes* juga berguna sebagai penanda biologi untuk monitoring lingkungan (Li *et al*, 2012).

Makrofita akuatik telah digunakan secara luas sebagai bioindikator dan fitoremediator untuk polusi lingkungan karena mereka menunjukkan kerusakan yang dapat diukur secara langsung terhadap fungsi vital mereka ketika terpapar kontaminan berbeda dan atau memiliki kapisitas untuk mengakumulasi kuantitas yang signifikan untuk beberapa polutan dalam jaringan mereka tanpa memberikan efek negatif dalam

pertumbuhan dan perkembangannya. Bagaimanapun, dengan mempertimbangkan bahwa setiap spesies akan menunjukkan respon spesifik yang berhubungan dengan kapasitas akumulasinya, memiliki mekanisme berbeda dalam menghilangkan polutan, dan setiap polutan memiliki reaksi berbeda pada organisme (Lu *et al*, 2010). Salah satu tumbuhan akuatik dengan potensi yang signifikan untuk digunakan dalam fitoremediasi atau bioindikator adalah *Pistia stratiotes* disebut juga sebagai selada air. *P. Stratiotes* dipilih untuk penelitian lebih lanjut karena kemampuan superiornya dan laju pertumbuhannya sangat cepat (Li *et al*, 2012). Spesies ini menunjukkan karakteristik yang sangat berguna seperti memiliki potensial yang tinggi untuk menyerap dan mengakumulasi polutan yang perkembangbiakannya tinggi pada kondisi laboratorium, mudah untuk tumbuh dan sel jaringannya dapat dianalisa dengan mudah yaitu menggunakan mikroskop (Lu *et al*, 2010)

Manfaat tumbuhan air seperti kayu apu dapat mengurangi konsentrasi limbah cair dalam limbah yang dapat dilakukan dengan proses fitoremediasi (Mamonto, 2013). Dari hasil penelitian oleh Ulfen (2000) diketahui bahwa tanaman air seperti kayu apu dapat menurunkan kadar pencemaran limbah cair. Pada banyak kasus, khususnya pada daerah iklim tropis dan subtropis, tanaman yang tumbuh dengan cepat seperti eceng gondok dan kayu apu digunakan pada fitoremediasi badan air pencemar. Hal ini karena jika dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh pada daerah tertentu, tanaman yang tumbuh dengan cepat pada daerah tersebut memiliki efisiensi removal nutrisi lebih besar dengan kapasitas penyerapan nutrisi yang tinggi, dapat tumbuh dengan cepat, dan memproduksi biomassa yang besar. Kayu apu memiliki potensial yang sangat tinggi untuk kekeruhan dan memperbaiki kualitas badan air (Lu *et al*, 2008). Penanaman selada air di kolam penampung air meningkatkan kualitas air dengan menurunkan kekeruhan dan konsentrasi nutrisi seperti N dan P (Lu *et al*, 2010).

2.11 Studi Terdahulu

2.11.1 Eceng Gondok sebagai Agen Fitoremediasi

Menurut Rahman (2011) eceng gondok merupakan tumbuhan yang mengambang di air dan tumbuh subur di daerah yang beriklim tropis. Priya dan Selvan (2014) juga menyatakan bahwa eceng gondok memiliki kemampuan biosorpsi yang tinggi untuk mengakumulasi polutan dalam air yang tercemar. Srivastava (2014) menyarankan eceng gondok untuk digunakan dalam fitoremediasi karena sifatnya yang mampu mengakumulasi polutan penyebab pencemaran air. Dari hasil penelitian Effendi (1988) menunjukkan bahwa eceng gondok mampu mengolah limbah cair dari buangan industri tepung tapioka, hasil yang diperoleh adalah eceng gondok mampu menurunkan BOD sebesar 76,38%-79,49%, nilai kekeruhan menurun tajam sebesar 80,77%-84,62% dan meningkatkan *Dissolved Oxygen* (DO). Menurut Zimmels et al (2006) menyatakan bahwa eceng gondok (*Eichornia crassipes*) memiliki efisiensi removal terbesar dalam mereduksi zat-zat polutan, apabila dibandingkan dengan tumbuhan air lainnya. Hal ini disebabkan karena laju pertumbuhannya yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan laju pertumbuhan tumbuhan air lainnya, serta sistem perakaran eceng gondok yang memungkinkan mikroorganisme untuk hidup dan tumbuh. Sistem perakaran eceng gondok yang akan menjadikan akar tumbuhan sebagai alat penyerap polutan dan partikel tersebut.

2.11.2 Kayu Apu sebagai Agen Fitoremediasi

Dari hasil penelitian Widya et al (2015) menunjukkan bahwa kayu apu mampu mengolah limbah cair dari buangan industri batik, hasil yang diperoleh adalah mampu menurunkan COD sebesar 97,96% ; menurunkan BOD sebesar 95,91% ; dan dapat menurunkan warna sebesar 95,60%. Dari hasil penelitian Wandana dan Laksmono (2012) kayu apu mampu mengolah limbah cair dari buangan usaha laundry, hasil yang diperoleh adalah kayu apu dapat menurunkan fosfat sebesar 39,77 % sedangkan untuk BOD dan COD dengan prosentase penyisihan yang sama sebesar 78,87 %. Menurut Mamonto (2013) Kayu apu (*Pistia stratiotes*) berpotensi menyerap Sianida (CN). Penyerapan

dan penguapan yang dihasilkan dalam proses fitoremediasi oleh Kayu apu sebanyak 300 gr adalah 100 % Sianida yang terakumulasi. Penguapan yang terjadi selama perlakuan yaitu 1,8 mg/l atau 36%.

2.11.3 Pengaruh Kerapatan Tumbuhan dalam Fitoremediasi

Dalam penelitian Irawanto (2015) menunjukkan bahwa kerapatan tumbuhan mempengaruhi efektivitas proses fitoremediasi. Dalam penelitiannya menunjukkan bahwa jumlah tumbuhan 5 individu per reaktor mampu mengakumulasikan lebih banyak konsentrasi timbal (Pb) dan kadmium (Cd) daripada jumlah tumbuhan 3 individu per reaktor. Irawanto (2015) juga menyatakan bahwa kemampuan hidup tumbuhan sebanyak 5 individu per reaktor lebih besae dari kemampuan hidup tumbuhan sebanyak 3 individu per reaktor. Dari hasil penelitian Widya *et al* (2015) menyatakan bahwa pada reaktor yang berisi 6 individu per reaktor dapat menurunkan 97,96% untuk COD, 95,91% untuk BOD, dan 95,60% untuk warna. Menurut Mamonto (2013) Semakin banyak jumlah tumbuhan maka semakin besar pula potensi akumulasi limbah cair Sianida (CN) oleh tumbuhan tersebut.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Suatu metodologi penelitian tugas akhir dilakukan untuk memberi gambaran awal tahap-tahap penelitian agar pelaksanaan dan penulisan laporan menjadi sistematis. Penelitian ini adalah menggunakan tanaman Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), dan Kayu apu (*Pistia stratiotes*) untuk meremediasi limbah laundry. Metode ini disebut sebagai fitoremediasi. Variasi penelitian ini adalah jenis tanaman yang berbeda yaitu tanaman Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), dan Kayu apu (*Pistia stratiotes*) dan variasi kerapatan tanaman. Analisis ini akan dilakukan terhadap penurunan kandungan organik.

Berdasarkan hasil penelitian ini akan diketahui besarnya konsentrasi optimum penyisihan fosfat oleh Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), dan Kayu apu (*Pistia stratiotes*) untuk meremediasi limbah laundry. Metodologi penelitian ini disusun dengan tujuan sebagai berikut:

1. Agar tahapan penelitian dan penulisan laporan dapat berjalan secara sistematis
2. Mengetahui dan memudahkan jalannya tahapan penelitian yang harus dilakukan sehingga mencegah terjadinya kesalahan dalam pelaksanaan penelitian

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan sebagai acuan atau skema kerja yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini. Penyusunan dilakukan dari tahap awal yaitu penyiapan alat dan bahan, pelaksanaan penelitian hingga penulisan laporan. Tujuan dari kerangka penelitian adalah sebagai berikut.

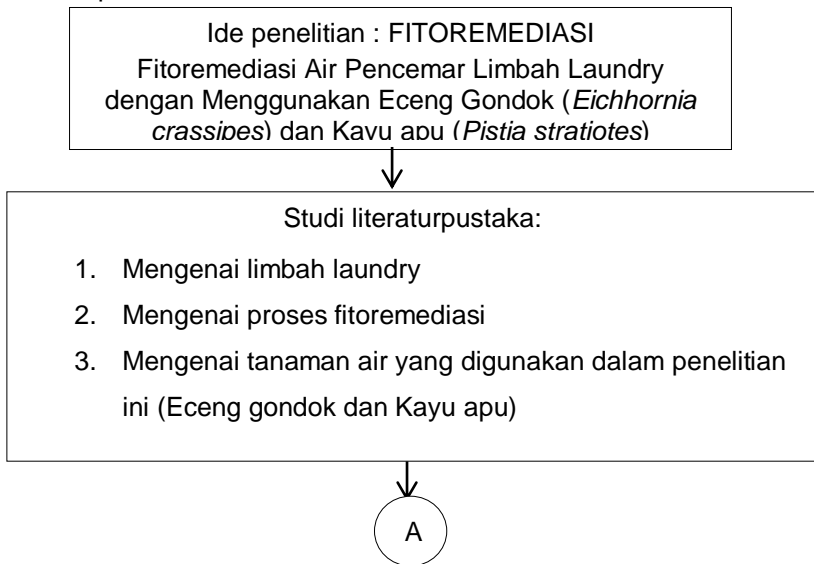
Sebagai gambaran awal mengenai tahapan-tahapan penelitian secara sistematis agar pelaksanaan penelitian dan penulisan laporan menjadi sistematis, terarah dan mengurangi terjadinya kesalahan dalam pelaksanaannya.

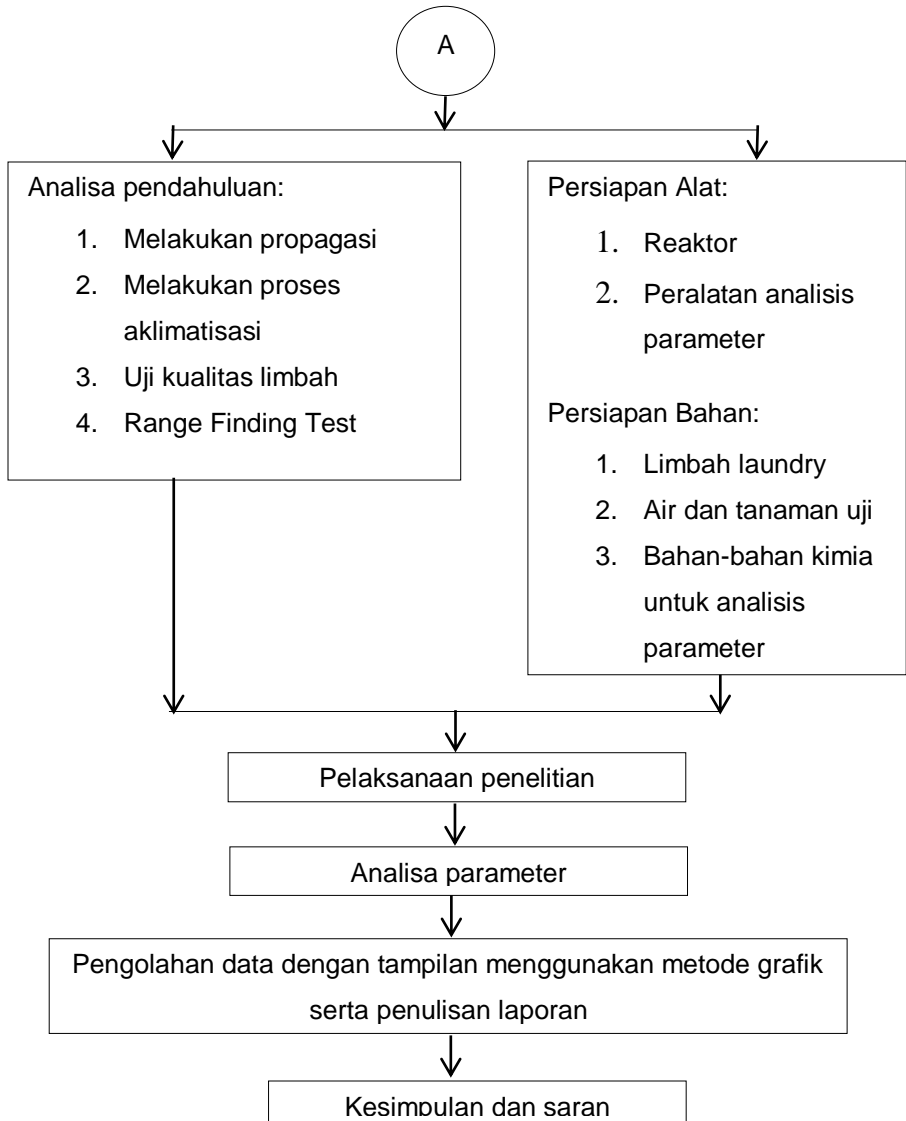
1. Mengetahui tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian mulai dari awal hingga akhir penelitian, dan digunakan sebagai acuan dari awal penelitian hingga penulisan laporan tugas akhir.
2. Memudahkan dalam mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian demi tercapainya tujuan.

Beberapa hal yang akan dilakukan adalah mengumpulkan data karakteristik limbah laundry, usia optimum tumbuhan yang digunakan, konsentrasi maksimum yang dapat diserap oleh masing-masing tumbuhan. Dilakukan uji laboratorium sesuai dengan parameter yang telah ditentukan, kemudian dianalisis dan dibahas hasil uji laboratorium tersebut.

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini berisi tentang langkah-langkah yang akan dilakukan selama pelaksanaan penelitian tugas akhir. Adapun diagram alir penelitian yang akan dilaksanakan dapat dilihat pada Gambar 3.1





Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian

3.3.1 Ide Tugas Akhir

Tahapan pendahuluan dimulai dengan menetapkan ide penelitian yang diperoleh berdasarkan kondisi lapangan. Ide penelitian merupakan kerangka awal untuk menetapkan rumusan masalah, yang kemudian diperoleh tujuan serta manfaat dari penelitian ini. Penelitian ini dibatasi dengan ruang lingkup agar identifikasi dan penelitian terfokus pada tujuan yang diharapkan. Ide penelitian ini adalah membandingkan efektivitas fitoremediasi dengan menggunakan tumbuhan Eceng gondok dan Kayu apu dalam meremediasi limbah *laundry*.

3.3.2 Studi Literatur

Studi ini dilakukan untuk mendukung jalannya penelitian dari awal hingga tahapan penyusunan laporan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan dasar teori yang kuat berkaitan dengan penelitian ini. Sumber literatur berasal dari buku-buku teks, laporan penelitian, jurnal-jurnal ilmiah dan artikel.

3.3.3 Variabel dan Parameter penelitian

- a. Variabel penelitian adalah suatu besaran yang dapat diubah atau berubah sehingga mempengaruhi peristiwa atau hasil penelitian. Variabel penelitian ini adalah sebagai berikut:
 - Variasi jenis tanaman
Variasi jenis tanaman dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan Kayu apu dan Eceng gondok dalam menurunkan kandungan organik dan kandungan fosfat dalam limbah *laundry*. Jenis tanaman yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Tumbuhan Eceng gondok dan Kayu apu
 - Variasi kerapatan tanaman
Variasi kerapatan dimaksudkan untuk mengetahui kerapatan optimum tanaman untuk menurunkan kandungan konsentrasi dalam limbah *laundry*.
- b. Parameter yang diteliti selama penelitian:
 - Parameter utama:
 - BOD
 - COD
 - Fosfat

- Parameter pendukung:
 - Morfologi tumbuhan
 - pH
 - Suhu

3.3.4 Persiapan Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini diperlukan alat dan bahan sebagai penunjang terlaksananya tugas akhir. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

Alat:

1. Reaktor plastik persegi dengan dimensi 62 x 42 x 38 cm bervolume 70 L sebanyak 2 reaktor untuk propagasi tumbuhan eceng gondok.
2. Reaktor plastik persegi dengan dimensi 62 x 42 x 38 cm bervolume 70 L sebanyak 2 reaktor untuk propagasi tumbuhan kayu apu.
3. Reaktor dengan berbahan plastik bervolume 10 L plastik dengan dimensi 295 x 281 x 245 mm sebanyak 6 reaktor untuk *range finding test* tumbuhan eceng gondok.

Tabel 3. 1 Rincian Reaktor Uji RFT Tumbuhan Eceng Gondok

Jumlah Reaktor Eceng Gondok					
C1	C2	C3	C4	C5	Kontrol
1	1	1	1	1	1
Total					6

4. Reaktor dengan berbahan plastik bervolume 10 L plastik dengan dimensi 295 x 281 x 245 mm sebanyak 6 reaktor untuk *range finding test* tumbuhan kayu apu

Tabel 3. 2 Rincian Reaktor Uji RFT Tumbuhan Kayu Apu

Jumlah Reaktor Kayu Apu					
C1	C2	C3	C4	C5	Kontrol
1	1	1	1	1	1
Total					6

5. Reaktor dengan sistem batch berbahan plastik bervolume 45 L plastik dengan dimensi 50 x 35 x 25 cm sebanyak 25 reaktor untuk uji fitoremediasi tumbuhan kayu apu dan eceng gondok. Gambar reaktor bisa dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3

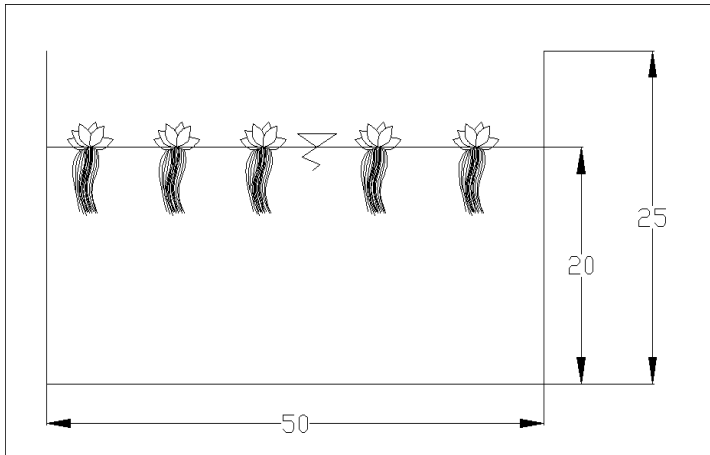
Tabel 3. 3 Rincian Reaktor Uji Fitoremediasi

Jenis Tumbuhan dan Kerapatan Tumbuhan		Jumlah Reaktor				
Eceng gondok	Kayu apu	Eceng gondok	Kayu apu	Kontrol		
				Tanpa Limbah		Tanpa Tanaman
				Eceng gondok	Kayu apu	
10	14	2	2	2	2	1
20	25	2	2	2	2	
30	35	2	2	2	2	
Total						25

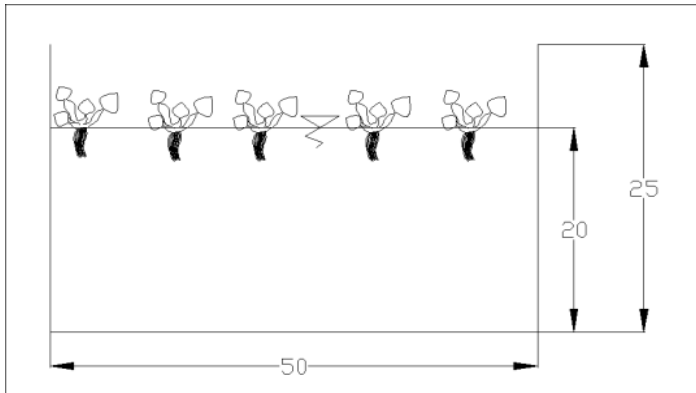
6. Peralatan analisis untuk parameter BOD₅ COD, pH, suhu dan fosfat. Dapat dilihat pada Tabel 3.4

Tabel 3. 4 Parameter Penelitian dan Metode Uji

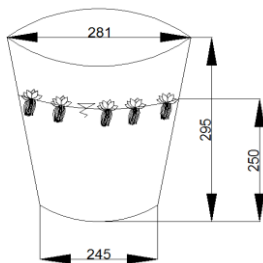
No	Parameter	Satuan	Acuan	Metode Analisis
1.	BOD ₅	mg/L	SNI 6989.72:2009	Titrasi Winkler
2.	COD	mg/L	SNI 06-6989.73:2009	Refluks tertutup
3.	pH		SNI 06-6989.11-2004	pH meter
4.	Suhu	°C	SNI 06-6989.23-2005	termometer
5	Fosfat	mg/L	SM 4500-P.D	Spektrofotometri



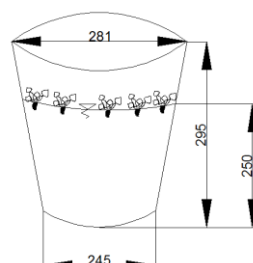
Gambar 3. 2 Reaktor uji fitoremediasi tumbuhan kayu apu



Gambar 3. 3 Reaktor uji fitoremediasi tumbuhan eceng gondok



**Gambar 3. 5
Reaktor RFT tumbuhan
kayu apu**



**Gambar 3. 4
Reaktor RFT tumbuhan
eceng gondok**

Sedangkan bahan-bahan yang dibutuhkan adalah:

1. Limbah laundry
2. Tanaman Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dapat diambil dari perairan di Surabaya. Sedangkan untuk Kayu apu (*Pistia stratiotes*) didapatkan di taman bunga Bratang, Surabaya.
3. Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam analisis parameter uji.
 - a. Analisa BOD₅ dengan metode titrasi winkler:
 - Air pengencer

- Larutan mangan sulfat
 - Larutan peraksi oksigen
 - Larutan asam sulfat
 - Indikator amilum
 - Natrium thiosulfat
- b. Analisa COD dengan metode refluks tertutup:
- Kristal Hg_2SO_4
 - Kalium dikromat 10 ml
 - Larutan asam sulfat (H_2SO_4)
 - Silver sulfate (Ag_2SO_4)
 - Indikator ferroin
 - Larutan standart ferro ammonium
- c. Analisa fosfat dengan metode spektrofotometri:
- Larutan Ammonium molibdate
 - Larutan Klorid timah

3.3.5 Penelitian Pendahuluan

Pada penelitian ini diperlukan penelitian pendahuluan ini dilakukan yaitu melakukan tahap propagasi untuk tanaman uji, tahap aklimatisasi dan *range finding test*. Tahap propagasi dilakukan untuk pembiakan tanaman supaya mencapai pertambahan jumlah, memelihara sifat-sifat penting dari tanaman (Askari, 2010), dan juga untuk mempertahankan eksistensi jenisnya. Ada dua cara perbanyakan tanaman, yaitu perbanyakan secara seksual atau generatif dan perbanyakan secara aseksual atau vegetatif. Tahap aklimatisasi dilakukan untuk mengetahui tingkat penyesuaian diri tumbuhan tersebut terhadap lingkungan yang baru. Sedangkan *range finding test* dilakukan untuk mengetahui konsentrasi maksimum pada limbah deterjen yang dapat menyebabkan tumbuhan mati.

- Propagasi
Tahap propagasi pada tumbuhan eceng gondok dan kayu apu dilakukan dengan cara memasukkan air sebanyak 25 L ke dalam reaktor kemudian memasukkan masing-masing tanaman uji kedalam reaktor. Pada tahap ini diamati setelah tumbuhnya tunas pada tumbuhan tersebut. Setelah itu diamati

perubahan fisiologis pada tiap tanaman dan masa laju pertumbuhan pada tumbuhan tersebut

- **Aklimatisasi**
Tahap aklimatisasi pada tumbuhan eceng gondok dan kayu apu dilakukan dengan cara mengambil masing-masing tumbuhan yang telah dewasa dari tahap propagasi dan menanamnya di reaktor aklimatisasi. Tujuan tahap ini adalah didapatkan tumbuhan eceng gondok dan kayu apu yang telah beradaptasi pada media yang akan digunakan pada *range finding test* dan uji fitoremediasi. Eceng gondok dan kayu apu yang sesuai dengan kriteria analisis tumbuhan akan diambil untuk penelitian eceng gondok dan kayu apu.
- **Uji kualitas air limbah**
Hal yang selanjutnya dilakukan setelah tahap aklimatisasi adalah uji kualitas air limbah *laundry* di laboratorium. Tujuannya yaitu untuk mengetahui konsentrasi BOD, COD, fosfat, pH dan suhu air limbah *laundry* yang akan dijadikan sebagai bahan penelitian. Air limbah *laundry* diambil dari salah satu usaha *laundry* di Kota Surabaya.
- ***Range finding test* (RFT)**
Pada *range finding test* ini dilakukan variasi konsentrasi untuk mengetahui batas kritis konsentrasi. Variasi konsentrasi pada limbah *laundry* dapat diperoleh dengan cara pengenceran terhadap limbah tersebut yang kemudian diujikan pada tumbuhan pengolah. USEPA Guidelines Part 850.4500 menyatakan bahwa banyak konsentrasi yang divariasikan pada tahap *range finding test* yaitu 5 konsentrasi, dengan rentang variasi mengikuti deret geometrik, dengan konsentrasi 0%, 10%, 20%, 40%, 60%, 80%. Tumbuhan yang digunakan pada tahap ini yaitu tumbuhan hasil dari tahap aklimatisasi sebelumnya. Kriteria tumbuhan yang digunakan pada RFT sama dengan kriteria tumbuhan yang digunakan pada tahap aklimatisasi. *Range finding test* dilakukan selama 4 hari atau 96 jam, lamanya RFT ini megacu pada USEPA (2012) . Namun apabila dalam

waktu 96 jam tidak terjadi perubahan pada tumbuhan, maka waktu diperpanjang selama 24 jam. Jika perpanjangan waktu RFT masih belum menyebabkan perubahan terhadap tumbuhan, waktu diperpanjang lagi hingga 14 hari.

3.3.6 Pelaksanaan Penelitian Inti

Pada tahap ini yang harus dilakukan yaitu mempersiapkan limbah laundry dengan konsentrasi yang didapatkan dari tahap *range finding test* (RFT). Pengujian dilakukan dengan menggunakan reaktor dan tumbuhan yang sama dengan proses aklimatisasi. Penelitian ini dilakukan secara duplo. Menggunakan variasi jenis tumbuhan dan kerapatan tumbuhan. Kemudian menambahkan air limbah yang telah disiapkan ke setiap masing-masing variasi pada reaktor. Pengamatan parameter utama seperti BOD, COD dan fosfat dilakukan dalam 1 kali dalam 5 hari dengan pengambilan sampling pagi dan malam hari. Untuk parameter monitoring seperti pH dan suhu dilakukan setiap hari. Berikut adalah parameter yang akan diamati selama penelitian berlangsung:

- Parameter utama:
 - BOD dilakukan dalam setiap 5 hari sekali dengan pengambilan sampling pagi dan sore hari
 - COD dilakukan dalam setiap 3 hari sekali dengan pengambilan sampling pagi dan sore hari
 - Fosfat dilakukan dalam setiap 3 hari sekali dengan pengambilan sampling pagi dan sore hari
- Parameter pendukung:
 - Morfologi tumbuhan (diameter daun)
 - pH dilakukan setiap hari selama penelitian
 - Suhu dilakukan setiap hari selama penelitian

Reaktor yang dibutuhkan sebanyak 25 reaktor dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3. 5 Rincian Reaktor Uji Fitoremediasi

Jenis Tumbuhan dan Kerapatan Tumbuhan		Jumlah Reaktor			
Eceng gondok	Kayu apu	Eceng gondok	Kayu apu	Kontrol	
				Tanpa Limbah	
				Eceng gondok	Kayu apu
10	14	2	2	2	2
20	25	2	2	2	2
30	35	2	2	2	2
Total					25

1. Reaktor kontrol uji fitoremediasi untuk limbah tanpa tanaman sebanyak 1 reaktor
2. Reaktor kontrol uji fioremediasi untuk tanpa limbah dengan tanaman sebanyak 12 reaktor
3. Dibutuhkan 2 buah reaktor untuk 10 mg/cm² eceng gondok
4. Dibutuhkan 2 buah reaktor untuk 20 mg/cm² eceng gondok
5. Dibutuhkan 2 buah reaktor untuk 30 mg/cm² eceng gondok
6. Dibutuhkan 2 buah reaktor untuk 14 mg/cm² kayu apu
7. Dibutuhkan 2 buah reaktor untuk 25 mg/cm² kayu apu
8. Dibutuhkan 2 buah reaktor untuk 35 mg/cm² kayu apu

3.3.6. Analisis Parameter Penelitian

Parameter yang dipilih akan diamati setiap 5 hari sekali untuk BOD₅, sedangkan untuk analisa COD dan fosfat dilakukan setiap 3 hari sekali. Berikut ini adalah parameter yang akan diamati dalam penelitian ini: Penelitian ini dilakukan pada tahap penentuan variasi konsentrasi. Langkah-langkah pelaksanaan penelitian secara detail adalah sebagai berikut:

1. Analisa BOD₅ dilakukan setiap 5 hari sekali dengan pengambilan sampling pagi dan sore. Prosedur penelitian mengacu pada SNI 6989.72:2009

2. Analisa COD dilakukan setiap 3 hari sekali dengan pengambilan sampling pagi dan sore. Prosedur penelitian mengacu pada SNI 6989.73:2009
3. Analisa fosfat dilakukan setiap 3 hari sekali dengan pengambilan sampling pagi dan sore. Prosedur penelitian sesuai dengan SM 4500-P.D
4. Analisa pH mengacu pada SNI 06-6989.11-2004
5. Analisa suhu mengacu pada SNI 06-6989.23-2005

3.3.7 Analisis dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan terhadap data hasil penelitian. Pada analisis data dan pembahasan diperlukan teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, baik teori yang mendukung atau bertentangan dengan penelitian tersebut. Kemudian dilakukan pembahasan terhadap hasil analisis data yang diperoleh dengan berdasarkan pada teori-teori yang berkaitan tersebut. Dari analisis data dan pembahasan diperoleh sebuah kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

3.3.8 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan adalah menjawab tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui kemampuan kayu apu dan eceng gondok dalam menurunkan kandungan organik dalam limbah laundry dan untuk mengetahui pengaruh kerapatan tumbuhan Kayu apu dan Eceng gondok terhadap penurunan limbah laundry. Sedangkan saran diberikan untuk mendapatkan perbaikan untuk penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Karakteristik Limbah

Limbah yang akan digunakan adalah limbah *laundry*. Limbah diambil dari salah satu usaha *laundry* yang terdapat di daerah Keputih, Surabaya. Uji karakteristik air limbah ini digunakan untuk mengetahui kandungan awal limbah sesuai dengan parameter air limbah bagi usaha/kegiatan *laundry* di Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013. Hasil uji karakteristik limbah laundry dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Hasil Uji Karakteristik Limbah Laundry

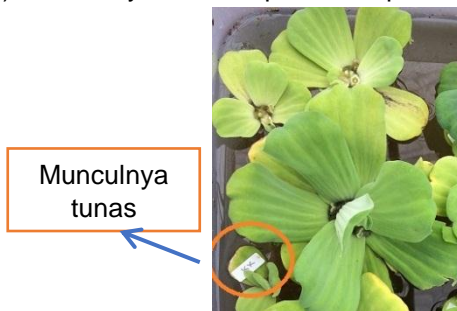
No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Baku Mutu
1.	BOD	mg/L	397 ± 81,4	100
2.	COD	mg/L	464 ± 85,9	250
3.	Fosfat	mg/L	10,3 ± 3,04	10
4.	pH	-	7,21	6-9

Berdasarkan hasil analisis awal didapatkan nilai BOD sebesar 397 mg/L, COD sebesar 464 mg/L dan fosfat sebesar 10,3 mg/L. Untuk nilai BOD, COD dan fosfat masih melebihi dari baku mutu bagi usaha/ kegiatan *laundry* menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013, tetapi untuk nilai pH masih memenuhi baku mutu.

4.2 Tahap Propagasi Tumbuhan (Perbanyakan Tumbuhan)

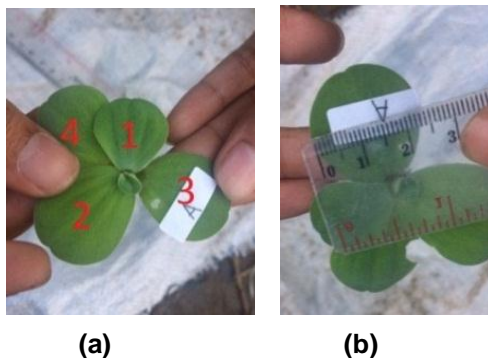
Tahap propagasi tumbuhan dapat disebut dengan tahap memperbanyak tumbuhan. Pada tahap propagasi ini berfungsi untuk menyediakan stok tumbuhan yang akan digunakan pada saat penelitian. Selama masa propagasi akan dilakukan pengamatan terhadap laju pertumbuhan tumbuhan (*growth rate*) dan dibiarkan sampai tumbuh tunas (*second generation*). Tumbuhan yang menjadi *second generation* inilah yang akan digunakan pada saat uji *Range Finding Test (RFT)* dan pada saat penelitian utama.

Pengamatan terhadap laju pertumbuhan (*growth rate*) dilakukan dengan mengamati karakteristik fisik Kayu apu berupa lebar daun, dan jumlah daun. Proses pengamatan terhadap lebar daun dan jumlah daun dapat dilihat pada Gambar 4.2. Lama waktu pengamatan terhadap karakteristik fisik Kayu apu adalah selama 1 bulan (30 hari). Berdasarkan Dani (2015), tumbuhan Kayu apu mulai tumbuh tunas pada minggu ke- 1 (7 hari). Munculnya tunas dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Tunas baru Kayu apu

Tumbuhan dengan umur yang sama dari hasil pengamatan terhadap laju pertumbuhan ini akan digunakan pada setiap tahapan penelitian, diharapkan dengan demikian kondisi awal tumbuhan yang digunakan adalah sama (Ningsih, 2017). Pengamatan pada fisik tumbuhan Kayu apu dapat dilihat pada Gambar 4.2.

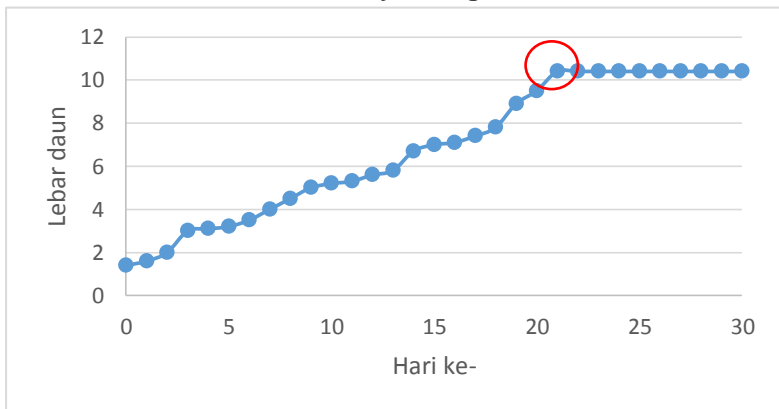


Gambar 4. 2 Pengamatan Karakteristik Fisik Kayu apu
(a) Jumlah Daun (b) Lebar Daun

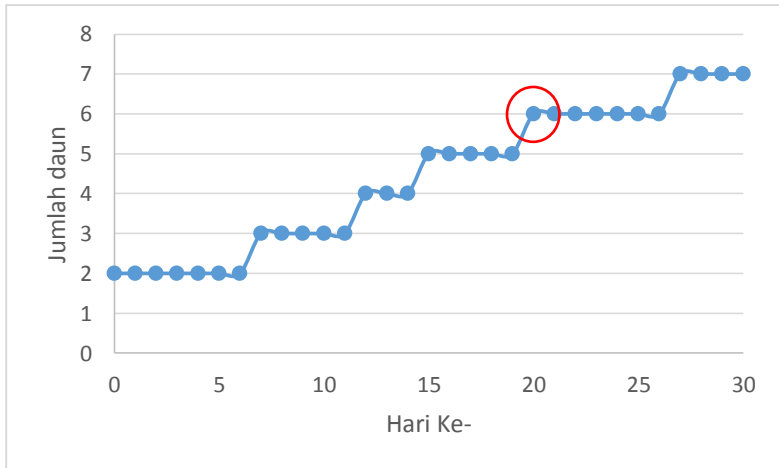
Dari hasil pengamatan laju pertumbuhan Kayu apu, dapat diketahui umur tumbuhan yang akan digunakan pada *range finding test* dan penelitian utama. Tumbuhan Kayu apu dipilih yang berumur 20 hari. Dimana pada usia 20 hari ini lebar daun Kayu apu yaitu 4 cm - 6 cm dan jumlah daun sebanyak 4 helai - 6 helai. Pemilihan penggunaan tumbuhan pada usia 20 hari ini didasarkan karena tumbuhan ini akan memasuki fase generatif. Diharapkan sebelum memasuki fase generatif, tumbuhan dapat menyerap kontaminan secara optimal. Fase generatif tumbuhan ini pada umur mencapai 1 - 2 bulan yang ditandai dengan keluarnya bunga. Bunga pada Kayu apu dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Fase generatif Kayu apu ditandai dengan adanya bunga



Gambar 4. 4 Perkembangan Lebar Daun Tumbuhan Kayu Apu



Gambar 4. 5 Perkembangan Jumlah Daun Tumbuhan Kayu Apu

Pengamatan fisik tumbuhan Eceng gondok berupa lebar daun dan tinggi tumbuhan. Proses pengamatan fisik lebar daun dan tinggi tumbuhan dapat dilihat pada Gambar 4.6.



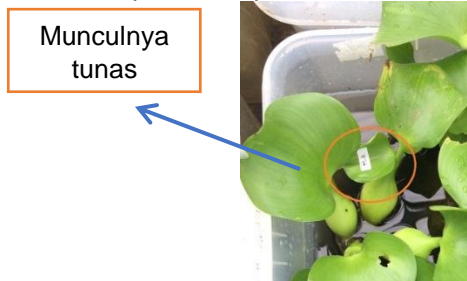
(a)



(b)

**Gambar 4. 6 Pengamatan Fisik Tumbuhan Eceng Gondok
(a) Lebar Daun (b) Tinggi Tumbuhan**

Lama waktu pengamatan terhadap karakteristik fisik Eceng gondok adalah selama 2 bulan. Pada usia 3 - 4minggu, muncul tunas baru setelah second generation, dimana hal ini mengindikasikan satu siklus umur Eceng gondok. Munculnya tunas baru dapat dilihat pada Gambar 4.7

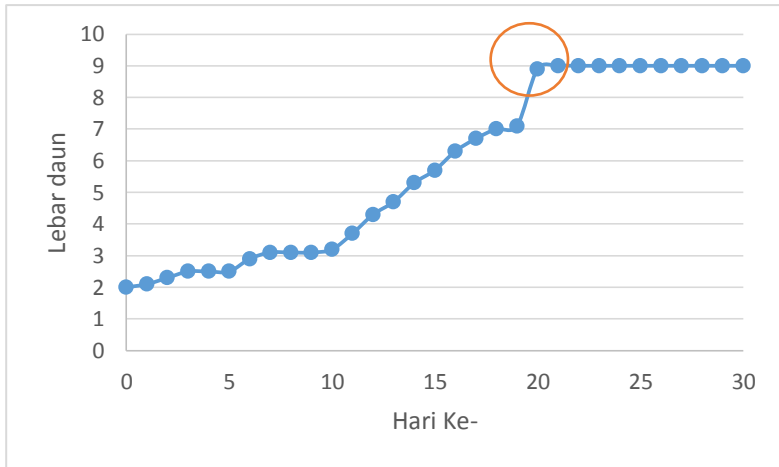


Gambar 4. 7 Munculnya Tunas Baru pada Eceng Gondok

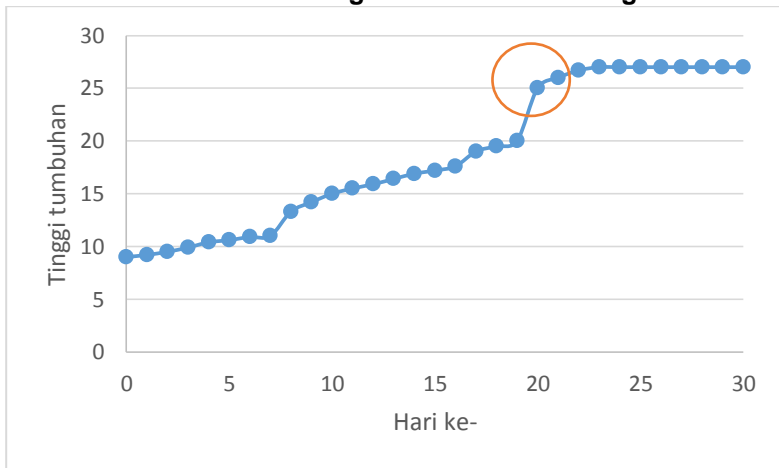
Hasil pengamatan terhadap fisik tumbuhan Eceng gondok dapat dilihat pada Gambar 4.6. Tumbuhan Eceng gondok dipilih yang berumur 20 hari. Dimana pada umur 20 hari Eceng gondok memiliki tinggi 24,6 cm – 27 cm, lebar daun 8 cm – 9 cm. Pemilihan penggunaan tumbuhan pada umur 20 hari ini didasarkan karena tumbuhan ini memasuki fase vegetatif. Diharapkan sebelum memasuki fase generatif, tumbuhan dapat menyerap kontaminan secara optimal. Fase generatif tumbuhan ini pada umur mencapai 1 bulan yang ditandai dengan keluarnya bunga. Bunga pada Eceng gondok dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4. 8 Fase generatif Eceng Gondok ditandai dengan keluarnya bunga



Gambar 4. 9 Perkembangan Lebar Daun Eceng Gondok



Gambar 4. 10 Pertumbuhan Tinggi tumbuhan Eceng Gondok

4.3 Tahap Aklimatisasi

Tahap aklimatisasi tumbuhan dilakukan supaya tumbuhan dapat menyesuaikan dengan kondisi yang akan

digunakan untuk tahap range finding test dan uji fitoremediasi. Proses aklimatisasi ini dilakukan selama 7 hari. Tumbuhan yang hidup dalam keadaan tidak mati dan tidak layu dipilih untuk digunakan pada uji *Range Finding Test* dan uji fitoremediasi.

4.4 Range Finding Test (RFT)

4.4.1 Range Finding Test 1

Pada range finding test ini dilakukan variasi konsentrasi untuk mengetahui batas kritis konsentrasi. Variasi konsentrasi pada limbah laundry dapat diperoleh dengan cara pengenceran terhadap limbah tersebut yang kemudian diujikan pada tumbuhan pengolah. USEPA Guidelines Part 850.4500 menyatakan bahwa banyak konsentrasi yang divariasikan pada tahap range finding test yaitu 5 konsentrasi, dengan rentang variasi mengikuti deret geometrik, dengan konsentrasi 0% (kontrol), 10%, 20%, 40%, 60%, dan 80% (v/v). RFT ini menggunakan wadah berupa ember dengan kapasitas 10 L. Volume air digunakan sebanyak 5 L. Tahap ini dilakukan selama 7 hari. Pada tahap ini akan diketahui batas kritis konsentrasi yang tidak memberi efek kematian pada tumbuhan. Konsentrasi inilah yang akan digunakan pada saat penelitian utama. Penentuan jumlah tumbuhan yang digunakan pada tahap RFT ini berdasarkan perhitungan berikut:

- Massa Eceng gondok = Densitas Eceng gondok x Volume air

$$= 0,02 \text{ gr/cm}^3 \times 5024 \text{ cm}^3$$

$$= 100,48 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Eceng gondok} &= \frac{\text{massa eceng gondok}}{\text{berat basah}} \\ &= \frac{100,48 \text{ gr}}{35 \text{ gr}} \\ &= 2,87 \approx 3 \text{ tumbuhan} \end{aligned}$$

- Massa Kayu apu = Densitas Kayu apu x Volume air

$$= 0,04 \text{ gr/cm}^3 \times 5024 \text{ cm}^3$$

$$= 226,08 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tumbuhan} &= \frac{\text{massa kayu apu}}{\text{berat basah}} \\
 &= \frac{200,96 \text{ gr}}{52,24 \text{ gr}} \\
 &= 3,8 \approx 4 \text{ tumbuhan}
 \end{aligned}$$

Dari hasil pengamatan selama 7 hari, terlihat bahwa tumbuhan Kayu apu dan Eceng gondok mampu hidup dengan baik pada konsentrasi limbah sebesar 20% yang setara dengan 79,4 mg/L BOD, 92,8 mg/L COD, dan 2,06 mg/L fosfat. Pada konsentrasi 30% sampai 50% Eceng gondok dan Kayu apu tidak dapat hidup dengan baik, ditandai dengan daun yang menguning, dan tumbuhan tenggelam ke dasar untuk tumbuhan Kayu apu, sedangkan untuk Eceng gondok ditandai dengan daun yang layu, yang dimaksud dengan layu yaitu daun menjadi lemas atau menyusut. Kemudian dengan ditandai batang yang busuk, yang dimaksud dengan busuk yaitu batang berubah menjadi warna coklat dan batang menjadi lunak. Konsentrasi yang digunakan yaitu konsentrasi paling tinggi yang didapatkan dari hasil RFT kedua jenis tumbuhan yakni pada konsentrasi 20%. Hal ini dilakukan supaya tumbuhan Kayu apu dan Eceng gondok masih tetap tumbuh dengan baik. Pengamatan secara fisik dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3. Untuk pengamatan perubahan fisik yang tidak dapat hidup dengan baik dapat dilihat pada Gambar 4.11



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 11 Pengamatan Perubahan Fisik
(a) Batang busuk (b) Daun layu (c) Kayu apu berada dibawah permukaan air



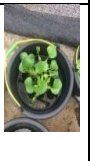












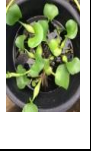
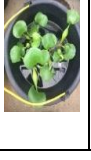



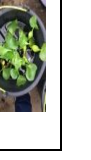
Tabel 4. 2 Pengamatan Fisik Kayu Apu

Konsentrasi	Hari Ke-1	Hari Ke-2	Hari Ke-3	Hari Ke-4	Hari Ke-5	Hari Ke-6	Hari Ke-7
0%							
10%							
20%							
40%							






















Lanjutan Tabel 4.2

Konsentrasi	Hari Ke-1	Hari Ke-2	Hari Ke-3	Hari Ke-4	Hari Ke-5	Hari Ke-6	Hari Ke-7
60%							
80%							

Tabel 4. 3 Pengamatan Fisik Eceng Gondok

Konsentrasi	Hari Ke-1	Hari Ke-2	Hari Ke-3	Hari Ke-4	Hari Ke-5	Hari Ke-6	Hari Ke-7
0%							
10%							
20%							

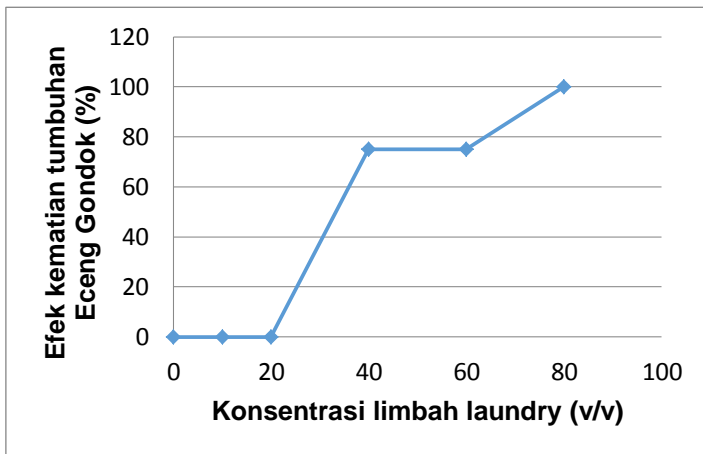
Lanjutan Tabel 4.3

Konsentrasi	Hari Ke-1	Hari Ke-2	Hari Ke-3	Hari Ke-4	Hari Ke-5	Hari Ke-6	Hari Ke-7
40%							
60%							
80%							

Hasil RFT dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5. Respon tumbuhan terhadap berbagai macam konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13

Tabel 4. 4 Hasil Range Finding Test Eceng gondok

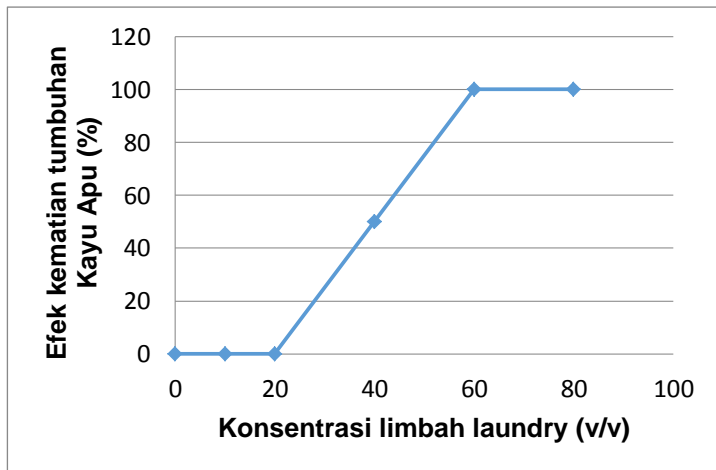
Konsentrasi limbah % (v/v)	Jumlah tumbuhan Eceng gondok	Hidup	Letal	Efek kematian tumbuhan (%)
0	3	3	-	0
10	3	3	-	0
20	3	3	-	0
40	3	1	2	75
60	3	1	2	75
80	3	-	3	100



Gambar 4. 12 Efek Kematian Tumbuhan Eceng gondok

Tabel 4. 5 Hasil Range Finding Test Kayu apu

Konsentrasi limbah % (v/v)	Jumlah tumbuhan Kayu apu	Hidup	Mati	Efek kematian tumbuhan (%)
0	4	4	-	0
10	4	4	-	0
20	4	4	-	0
40	4	2	2	50
60	4	-	4	100
80	4	-	4	100



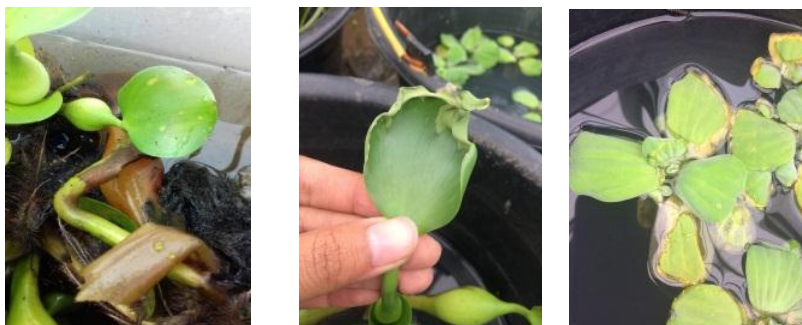
Gambar 4. 13 Efek Kematian Tumbuhan Kayu apu

Dapat diketahui dari Gambar 4.12 dan 4.13 bahwa tumbuhan Eceng gondok dan tumbuhan Kayu apu tidak mengalami kematian pada konsentrasi 20%, sehingga konsentrasi yang digunakan yaitu konsentrasi paling tinggi yang didapatkan dari hasil RFT kedua jenis tumbuhan yakni pada konsentrasi 20%.

4.4.2 Range Finding Test 2

Pada tahap RFT yang pertama tumbuhan Eceng gondok dan Kayu apu mampu hidup dengan baik pada konsentrasi limbah sebesar 20%. Pada tahap RFT yang kedua ini dilakukan dengan menggunakan konsentrasi 0%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40% dikarenakan range konsentrasi pada tahap RFT pertama yaitu sebesar 20%-40%, range tersebut sangat jauh, diharapkan pada range tersebut terdapat beberapa tanaman Eceng Gondok dan Kayu apu yang mengalami kematian. Dari hasil pengamatan selama 7 hari, terlihat bahwa tumbuhan Kayu apu mampu hidup dengan baik pada konsentrasi limbah sebesar 20% yang setara dengan 79,4 mg/L BOD, 92,8 mg/L COD, dan 2,06 mg/L fosfat. Pada konsentrasi 25% sampai 40% Kayu apu tidak dapat hidup dengan baik ditandai dengan daun yang

menguning, dan tumbuhan tenggelam ke dasar. Sedangkan untuk tumbuhan Eceng gondok mampu hidup dengan baik pada konsentrasi limbah sebesar 35% yang setara dengan 139 mg/L BOD, 162mg/L COD, dan 3,6 mg/L fosfat. Pada konsentrasi 40% Eceng gondok tidak dapat hidup dengan baik ditandai dengan daun yang layu, yang dimaksud dengan layu yaitu daun menjadi lemas atau menyusut. Kemudian dengan ditandai batang yang busuk, yang dimaksud dengan busuk yaitu batang berubah menjadi warna coklat dan batang menjadi lunak. Konsentrasi yang digunakan yaitu konsentrasi paling besar yang didapatkan dari hasil RFT kedua jenis tumbuhan yakni pada konsentrasi 20% untuk Kayu apu dan 35% untuk Eceng gondok. Hal ini dilakukan supaya tumbuhan Kayu apu dan Eceng gondok masih tetap tumbuh dengan baik. Pengamatan secara fisik dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7. Untuk pengamatan perubahan fisik yang tidak dapat hidup dengan baik dapat dilihat pada Gambar 4.14













































(a)

(b)

(c)

Gambar 4. 14 Pengamatan Perubahan Fisik
(a) Batang busuk (b) Daun layu (c) Kayu apu berada dibawah permukaan air

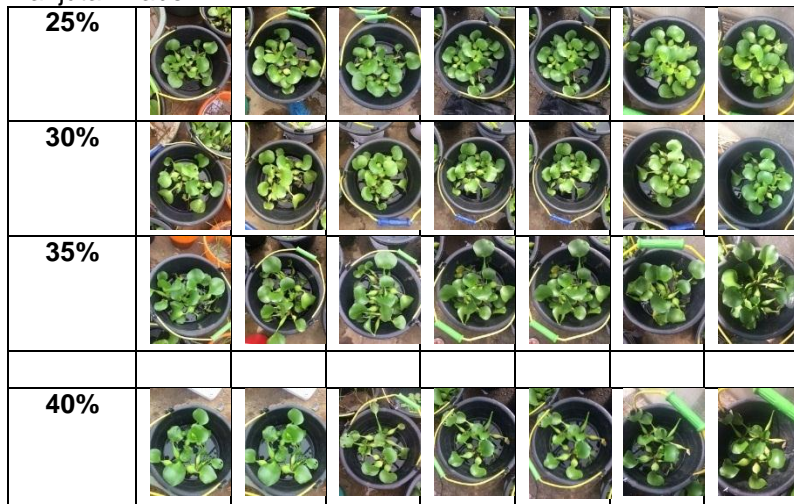
Tabel 4. 6 Pengamatan Fisik Kayu apu

Konsentrasi	Hari Ke-1	Hari Ke-2	Hari Ke-3	Hari Ke-4	Hari Ke-5	Hari Ke-6	Hari Ke-7
0%							
20%							
25%							
30%							
35%							
40%							

Tabel 4. 7 Pengamatan Fisik Eceng Gondok

Konsentrasi	Hari Ke-1	Hari Ke-2	Hari Ke-3	Hari Ke-4	Hari Ke-5	Hari Ke-6	Hari Ke-7
0%							
20%							

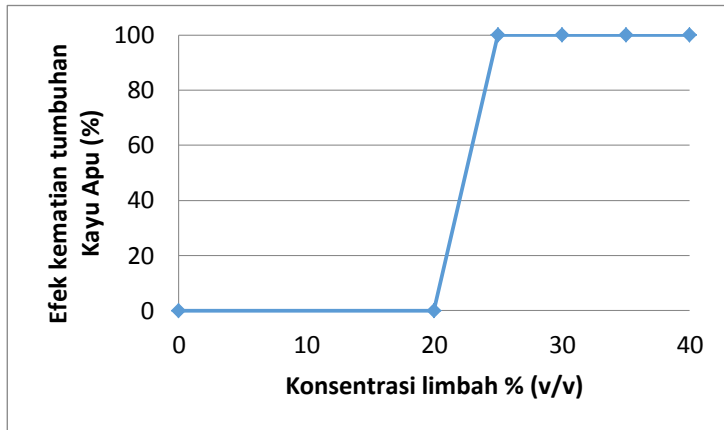
Lanjutan Tabel 4.7



Hasil RFT dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9. Respon tumbuhan terhadap berbagai macam konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16.

Tabel 4. 8 Hasil Range Finding Test Kayu Apu

Konsentrasi limbah % (v/v)	Jumlah tumbuhan Kayu apu	Hidup	Letal	Efek kematian tumbuhan (%)
0	4	4	-	0
20	4	4	-	0
25	4	-	4	100
30	4	-	4	100
35	4	-	4	100
40	4	-	4	100

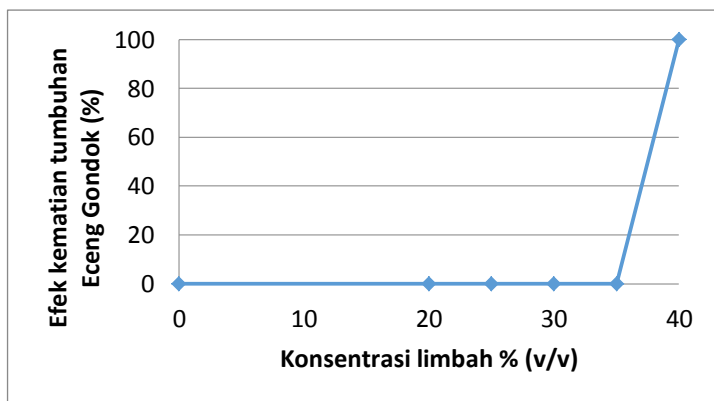


Gambar 4. 15 Efek Kematian Tumbuhan Kayu apu

Tabel 4. 9 Hasil Range Finding Test Kayu Apu

Konsentrasi limbah % (v/v)	Jumlah tumbuhan Eceng gondok	Hidup	Letal	Efek kematian tumbuhan (%)
0	3	3	-	0
20	3	3	-	0
25	3	3	-	0
30	3	3	-	0
35	3	3	-	0
40	3	-	3	100

Dapat diketahui dari Gambar 4.15 dan 4.16 bahwa tumbuhan Kayu apu tidak mengalami kematian pada konsentrasi 20%, sedangkan untuk tumbuhan Eceng gondok tidak mengalami kematian pada konsentrasi 35%, sehingga konsentrasi yang digunakan yaitu konsentrasi paling tinggi yang didapatkan dari hasil RFT kedua jenis tumbuhan yakni pada konsentrasi 20% untuk Kayu apu dan 35% untuk Eceng gondok.



Gambar 4. 16 Efek Kematian Tumbuhan Eceng gondok

4.5 Uji Fitoremediasi Limbah *Laundry*

Penelitian utama yaitu tahap uji fitoremediasi ini adalah dengan sistem batch. Tumbuhan yang digunakan adalah tumbuhan yang sudah melalui tahap aklimatisasi sebelumnya, supaya tumbuhan sudah beradaptasi dengan kondisi yang akan digunakan dalam uji fitoremediasi. Konsentrasi limbah yang digunakan adalah konsentrasi limbah hasil RFT yang tidak menimbulkan efek kematian pada tumbuhan. Konsentrasi limbah laundry yang digunakan yaitu 20% (v/v) untuk tumbuhan Kayu apu, sedangkan untuk tumbuhan Eceng gondok yaitu 35%(v/v). Konsentrasi ini merupakan konsentrasi yang tidak menimbulkan efek kematian pada tumbuhan Kayu apu dan Eceng gondok. Variasi pada penelitian ini yaitu variasi pada kerapatan tumbuhan dan jenis tumbuhan. Untuk kerapatan Kayu apu yang digunakan yaitu 14 mg/cm², 25 mg/cm² dan 35 mg/cm². Sedangkan untuk tumbuhan Eceng gondok yaitu 10 mg/cm², 20 mg/cm², dan 30 mg/cm² yang dilakukan selama 20 hari. Volume air yang digunakan sebanyak 17 Liter. Parameter yang akan diuji adalah BOD, COD, fosfat, pH, dan suhu. Waktu pengujian parameter dilakukan saat pagi pukul 06.00 dan sore hari pukul 18.00. Sebelum dilakukan uji fitoremediasi, dilakukan terlebih dahulu perhitungan beban yang mampu diterima oleh setiap tumbuhan.

Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui kemampuan *uptake* yang mampu dilakukan oleh 1 unit tumbuhan dalam menyerap kontaminan limbah *laundry*. Berikut merupakan perhitungan analisa beban per unit tumbuhan:

a. Tumbuhan Eceng gondok

➤ Tahap RFT

Diketahui: Konsentrasi limbah yaitu 35%

- BOD = 139 mg/L
- Volume = 5 L
- Jumlah tumbuhan digunakan = 3 tumbuhan

Perhitungan:

- Beban limbah yang diterima oleh 3 tumbuhan

$$\text{Volume air} \times \text{BOD awal} = 5 \text{ L} \times 139 \text{ mg/L}$$

$$= 695 \text{ mg BOD} / 3 \text{ tumbuhan}$$
- Kemampuan tiap tumbuhan = $\frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$

$$= \frac{695 \text{ mg}}{3 \times 78}$$

$$= 2,79 \text{ mg}$$

$$= 2970 \text{ mg/kg}$$
- Cek beban pada tahap fitoremediasi
 Diketahui konsentrasi limbah yaitu 35%
 - BOD = 139 mg/L
 - Volume = 17 L

Perhitungan:

- Beban tumbuhan = Volume air x BOD awal

$$= 17 \text{ L} \times 139 \text{ mg/L}$$

$$= 2363 \text{ mg}$$
- Kemampuan tiap tumbuhan = $\frac{2363 \text{ mg}}{2970 \text{ mg/kg}}$

$$= 0,795 \text{ kg}$$

$$= 795 \text{ gr}$$

Setelah mengetahui beban yang mampu diterima oleh setiap tumbuhan, maka dapat dihitung minimal dan maksimal jumlah pada tumbuhan Eceng gondok. Perhitungan dapat dilihat dibawah ini:

- Jumlah tumbuhan
$$= \frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$$
$$= \frac{795 \text{ gr}}{78}$$
$$= 10,2 \approx 10 \text{ tumbuhan}$$
- Maksimal jumlah tumbuhan gondok x Volume air
$$= \text{densitas Eceng}$$
$$= 0,02 \text{ gr/cm}^3 \times 17000 \text{ cm}^3$$
$$= 340 \text{ gr}$$
$$= \frac{340 \text{ gr}}{10 (\text{jumlah tumbuhan})}$$
$$= 34 \text{ tumbuhan}$$

b. Tumbuhan Kayu apu

➤ Tahap RFT

Diketahui: Konsentrasi limbah yaitu 20%

- BOD = 79,4 mg/L
- Volume = 5 L
- Jumlah tumbuhan digunakan = 4 tumbuhan

Perhitungan:

- Beban limbah yang diterima oleh 4 tumbuhan
Volume air x BOD
$$= 5 \text{ L} \times 79,4 \text{ mg/L}$$
$$= 397 \text{ mg BOD/4 tumbuhan}$$
- Kemampuan tiap tumbuhan
$$= \frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$$
$$= \frac{397 \text{ mg}}{4 \times 8}$$
$$= 12,41 \text{ mg}$$
$$= 12410 \text{ mg/kg}$$
- Cek beban pada tahap fitoremediasi
Diketahui konsentrasi limbah yaitu 20%
 - BOD = 79,4 mg/L
 - Volume = 17 L

Perhitungan:

- Beban tumbuhan konsentrasi BOD awal
$$= \text{Volume air} \times$$
$$= 17 \text{ L} \times 79,4 \text{ mg/L}$$
$$= 1349,8 \text{ mg}$$

- Kemampuan tiap tumbuhan =
$$\frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{kemampuan tiap tumbuhan saat RFT}}$$

$$= \frac{1349,8 \text{ mg}}{12410 \text{ mg/kg}}$$

$$= 0,108 \text{ kg}$$

$$= 108,8 \text{ gr}$$

Setelah mengetahui beban yang mampu diterima oleh setiap tumbuhan, maka dapat dihitung minimal dan maksimal jumlah pada tumbuhan Kayu apu. Perhitungan dapat dilihat dibawah ini:

- Jumlah tumbuhan =
$$\frac{\text{Beban tumbuhan}}{\text{berat kering}}$$

$$= \frac{108,8 \text{ gr}}{8}$$

$$= 13,6 \approx 14 \text{ tumbuhan}$$
- Maksimal jumlah tumbuhan = densitas Kayu apu x Volume air

$$= 0,04 \text{gr/cm}^3 \times 17000 \text{ cm}^3$$

$$= 680 \text{ gr}$$

$$= \frac{680 \text{ gr}}{14 (\text{jumlah tumbuhan})}$$

$$= 49 \text{ tumbuhan}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan variasi kebutuhan tumbuhan untuk setiap reaktor. Untuk lebih detail dapat dilihat pada Tabel 5.1

Tabel 4. 10 Variasi Kerapatan Tumbuhan

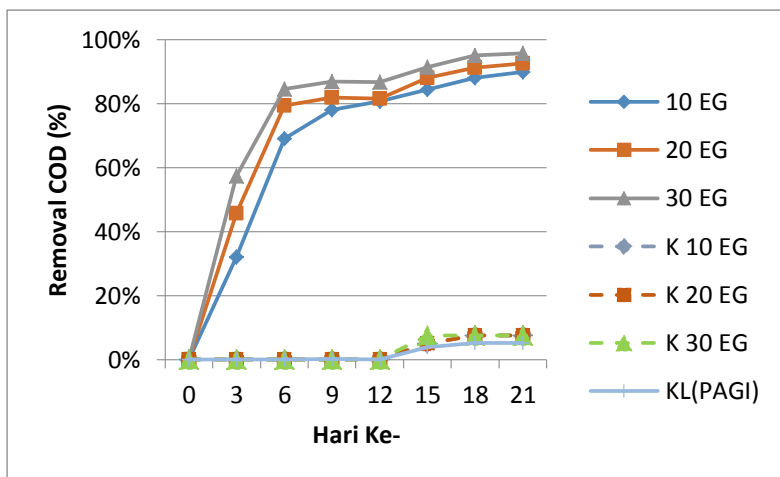
Variasi Jenis Tumbuhan	Kerapatan antar Tumbuhan		
Kayu apu	14mg/cm ²	25mg/cm ²	35 mg/cm ²
Eceng gondok	10mg/cm ²	20mg/cm ²	30 mg/cm ²

4.5.1 Analisa Parameter COD

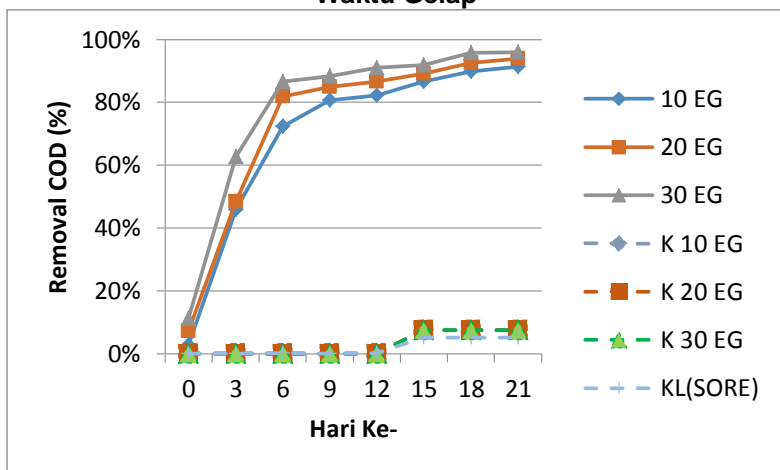
Analisa COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air limbah. Metode Uji yang digunakan yaitu metode refluks tertutup sesuai dengan SNI 6989.73:2009.

Pengambilan sampel dilakukan pada saat pagi hari pukul 06.00 dan sore hari pukul 18.00. Pengambilan sampel dilakukan 1 hari 2x bertujuan untuk mengetahui kandungan limbah saat tumbuhan sebelum dan sesudah terpapar sinar matahari, dimana pada saat intensitas cahaya sangat tinggi (disaat siang hari) reaksi fotosintesis berjalan lebih besar daripada waktu lainnya karena banyaknya persediaan cahaya matahari. Pengambilan sampel dilakukan pada hari ke- 3, 6, 9, 12,15, 18 dan 21. Berikut hasil analisa COD pada masing-masing reaktor, dapat dilihat pada Gambar 4.17 hingga Gambar 4.20.

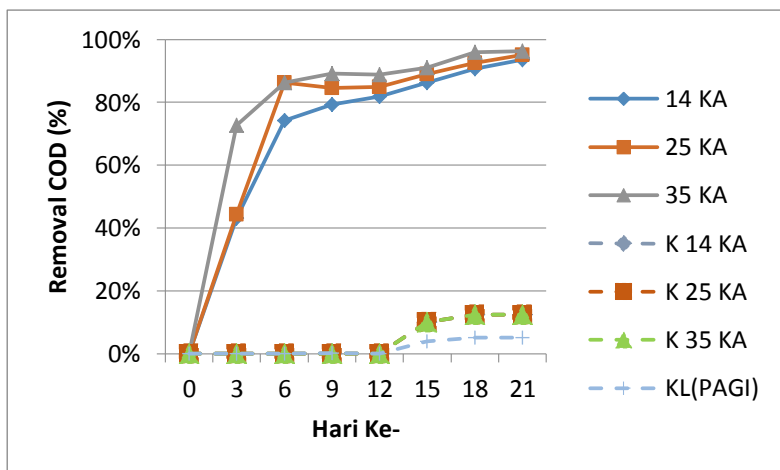
Dapat dilihat pada Gambar 4.17 hingga Gambar 4.20 Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan data penurunan COD untuk masing-masing reaktor. Pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18, pengamatan awal yaitu terjadi pada hari ke- 3, tampak bahwa presentasi penyisihan COD pada masing-masing reaktor terjadi kenaikan secara signifikan yaitu reaktor limbah memiliki efisiensi sebesar 32% untuk kerapatan 10 mg/cm² Eceng gondok, 46% untuk kerapatan 20 mg/cm² Eceng gondok, 57% untuk kerapatan 30 mg/cm² Eceng gondok pada waktu gelap. Sedangkan pada waktu terang, reaktor limbah memiliki efisiensi sebesar 46% untuk kerapatan 10 mg/cm² Eceng gondok, 48% untuk kerapatan 20 mg/cm² Eceng gondok, 63% untuk kerapatan 30 mg/cm² Eceng gondok. Pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20, untuk reaktor tumbuhan Kayu apu juga mengalami kenaikan secara signifikan pada pengamatan hari ke-3, yaitu sebesar 43% untuk kerapatan 14 mg/cm² Kayu apu, 44% untuk kerapatan 25 mg/cm² Kayu apu, 73% untuk kerapatan 35 mg/cm² Kayu apu pada waktu gelap. Sedangkan pada waktu terang, reaktor limbah memiliki efisiensi sebesar 53% untuk kerapatan 14 mg/cm² Kayu apu, 67% untuk kerapatan 25 mg/cm² Kayu apu, 75% untuk kerapatan 35 mg/cm² Kayu apu pada waktu terang. Perbedaan removal pada waktu gelap dan terang hari terjadi kenaikan yang cukup signifikan dikarenakan terjadinya proses fotosintesis, merupakan proses perubahan bahan-bahan anorganik seperti CO₂ dan H₂O oleh klorofil diubah menjadi karbohidrat atas bantuan sinar matahari.



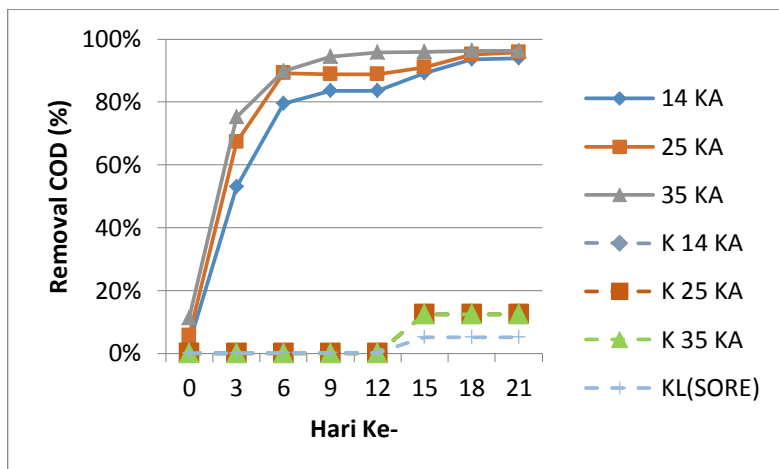
Gambar 4. 17 Removal COD Tumbuhan Eceng Gondok pada Waktu Gelap



Gambar 4. 18 Removal COD Tumbuhan Eceng Gondok pada Waktu Terang



Gambar 4. 19 Removal COD Tumbuhan Kayu Apu pada Waktu Gelap



Gambar 4. 20 Removal COD Tumbuhan Kayu Apu pada Waktu Terang

Prinsip kerja sistem yang dilakukan yaitu dengan memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan dengan mikroorganisme dalam media di sekitar sistem perakaran (*Rhizosphere*) tumbuhan tersebut (Ningsih, 2017).

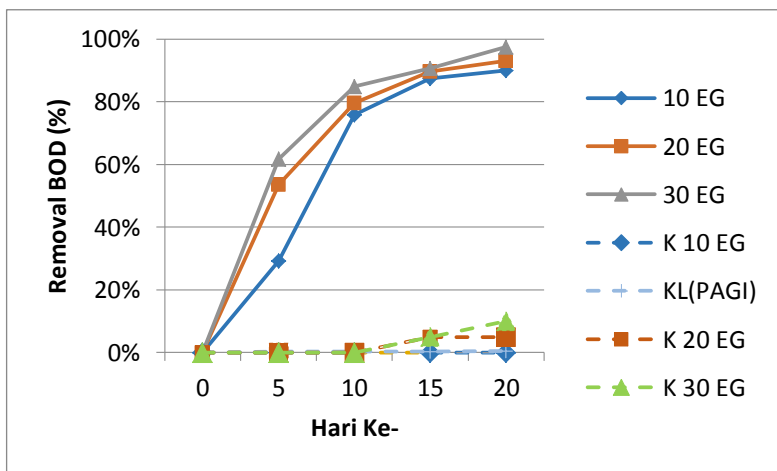
Tumbuhan mempunyai peranan yang penting dalam proses pembersihan limbah karena akar tumbuhan merupakan tempat melekatnya bakteri (Khiatuddin, 2003). Mikroorganisme perombak bahan organik merupakan aktivator biologis yang tumbuh alami. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi senyawa lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrient, sedangkan sistem perakaran tumbuhan akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme.

Kenaikan nilai removal COD semakin hari semakin meningkat. Hal ini terjadi karena proses degradasi akan mulai efektif ketika mikroorganisme di dalam zona akar sudah mulai tumbuh dalam jumlah yang banyak. Kenaikan removal pada reaktor uji terjadi karena penguraian bahan organik oleh mikroorganisme pada akar tumbuhan kemudian dimanfaatkan tumbuhan untuk fotosintesis. Fotosintesis merupakan proses perubahan bahan-bahan anorganik seperti CO_2 dan H_2O oleh klorofil diubah menjadi karbohidrat atas bantuan sinar matahari. Untuk reaktor kontrol juga mengalami kenaikan removal pada hari ke-15 meskipun nilai removal masih berada dibawah nilai removal reaktor uji fitoremediasi, hal ini dikarenakan kandungan organik yang terdapat di dalam reaktor kontrol hanya sedikit, sehingga mikroorganisme yang terdapat di reaktor tidak seberapa efektif dalam meremove senyawa organik yang terdapat di reaktor kontrol. Prinsip kerja sistem yang dilakukan adalah dengan memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan dengan mikroorganisme dalam media di sekitar sistem perakaran (*Rhizosphere*) tumbuhan tersebut. Tumbuhan mempunyai peranan dalam proses pembersihan limbah karena akar tumbuhan merupakan tempat melekatnya bakteri (Khiatuddin, 2003). Mikroorganisme perombak bahan organik merupakan aktivator biologis yang tumbuh alami. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah akan dirombak oleh

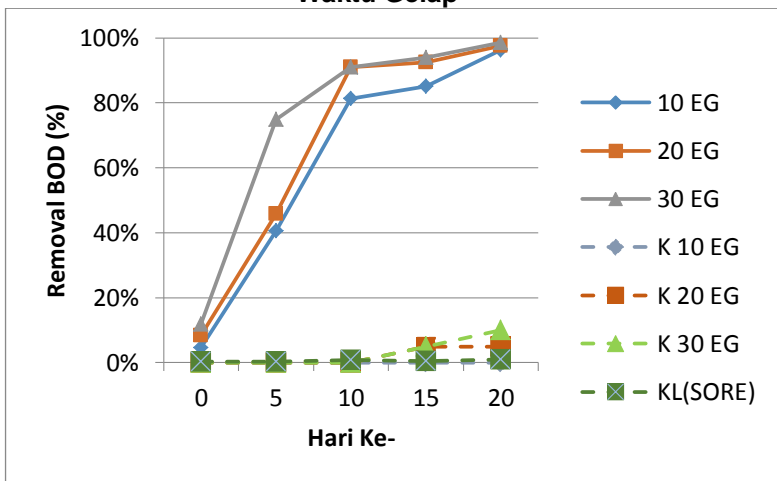
mikroorganisme menjadi senyawa lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrient, sedangkan sistem perakaran tumbuhan akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme.

4.5.2 Analisa Parameter BOD

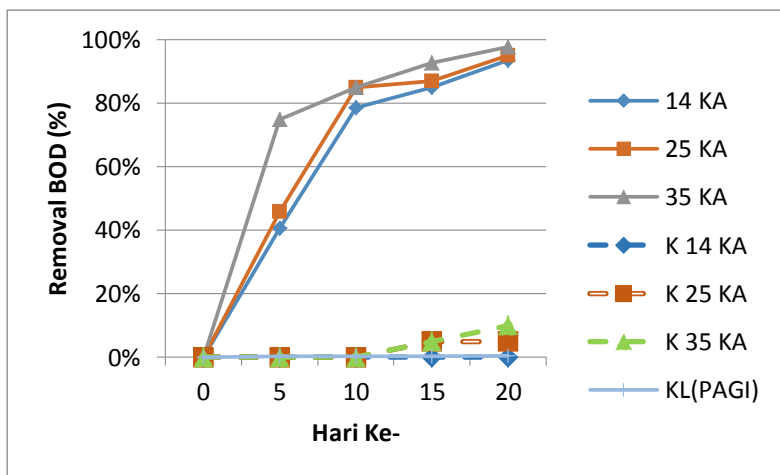
Analisa BOD bertujuan untuk menghitung kebutuhan oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam limbah. Analisa BOD dilakukan untuk menentukan kekuatan pencemaran dari limbah domestik dan limbah industri. Analisa ini merupakan salah satu analisa terpenting dalam aktivitas pencemaran sungai. Dengan mengetahui nilai BOD memungkinkan untuk menentukan tingkan pencemaran air lingkungan (Wardhana, 2001). BOD₅ adalah banyaknya oksigen (mg) yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan atau mengoksidasi bahan organik dalam satu liter air limbah selama pengeringan (5x24 jam pada suhu 20°C) (Ningsih, 2017). Metode uji yang digunakan sesuai dengan SNI 6989.72:2009. Pengambilan sampel dilakukan pada saat pagi hari pukul 06.00 dan sore hari pukul 18.00. Pengambilan sampel dilakukan 1 hari 2x bertujuan untuk mengetahui kandungan limbah saat tumbuhan sebelum dan sesudah terpapar sinar matahari, dimana pada saat intensitas cahaya sangat tinggi (disaat siang hari) reaksi fotosintesis berjalan lebih besar daripada waktu lainnya karena banyaknya persediaan cahaya matahari. Pengambilan sampel dilakukan pada hari ke- 0, 5, 10, 15, dan 20. Berikut hasil analisa BOD pada masing-masing reaktor, dapat dilihat pada Gambar 4.21 hingga Gambar 4.24



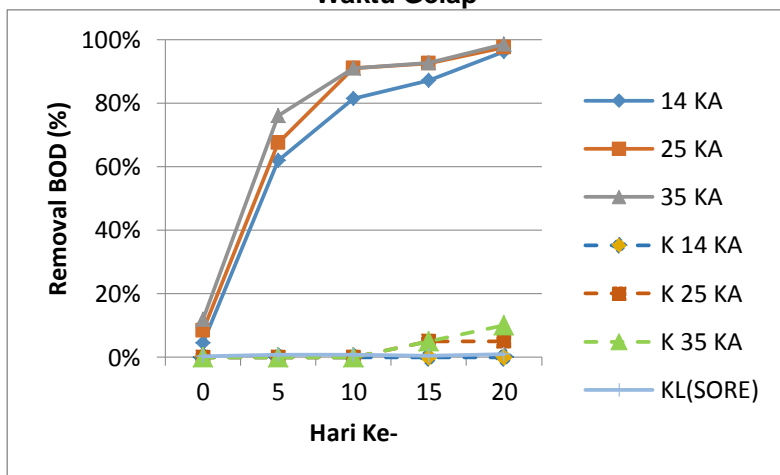
Gambar 4. 21 Removal BOD Tumbuhan Eceng Gondok pada Waktu Gelap



Gambar 4. 22 Removal BOD Tumbuhan Eceng Gondok pada Waktu Terang



Gambar 4. 23 Removal BOD Tumbuhan Kayu Apu pada Waktu Gelap



Gambar 4. 24 Removal BOD Tumbuhan Kayu Apu pada Waktu Terang

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan data penurunan BOD untuk masing-masing reaktor. Pada

pengamatan awal yaitu terjadi pada hari ke- 5, tampak bahwa presentasi penyisihan BOD pada masing-masing reaktor terjadi kenaikan secara signifikan yaitu reaktor limbah memiliki efisiensi sebesar 29% untuk kerapatan 10 mg/cm² Eceng gondok, 54% untuk kerapatan 20 mg/cm² Eceng gondok, 62% untuk kerapatan 30 mg/cm² Eceng gondok pada waktu gelap. Sedangkan pada waktu terang, reaktor limbah memiliki efisiensi sebesar 49% untuk kerapatan 10 mg/cm² Eceng gondok, 61% untuk kerapatan 20 mg/cm² Eceng gondok, 70% untuk kerapatan 30 mg/cm² Eceng gondok. Pada reaktor tumbuhan Kayu apu juga mengalami kenaikan secara signifikan pada pengamatan hari ke- 5, yaitu sebesar 41% untuk kerapatan 14 mg/cm² Kayu apu, 46% untuk kerapatan 25 mg/cm² Kayu apu, 75% untuk kerapatan 35 mg/cm² Kayu apu pada waktu gelap. Sedangkan pada waktu terang, reaktor limbah memiliki efisiensi sebesar 62% untuk kerapatan 14 mg/cm² Kayu apu, 68% untuk kerapatan 25 mg/cm² Kayu apu, 76% untuk kerapatan 35 mg/cm² Kayu apu. Hal ini terjadi karena adanya hubungan sinergi terhadap tumbuhan dalam menurunkan zat organik dalam reaktor fitoremediasi, sehingga menyebabkan konsentrasi BOD dalam reaktor tersebut mengalami penurunan.

Dalam BOD terdapat senyawa organik yang mudah terurai yang dinyatakan dalam nilai BOD serta terdapat pula yang sulit terurai. Senyawa organik mudah terurai yang diasosiasikan dengan padatan tersuspensi yang dapat mengendap lebih banyak daripada yang dapat terlarut. Hal ini karena 80% dari BOD terdiri dari padatan terlarut dan tersuspensi, padatan tersuspensi dapat dibagi menjadi padatan yang dapat mengendap dan yang tidak dapat mengendap (Crites dan Tchobanoglous, 1998). Pada umumnya 60% dari padatan tersuspensi dalam air limbah domestik adalah padatan yang dapat mengendap (*Metcalf and Eddy*, 2003). Senyawa organik yang terkandung di dalam limbah *laundry* menjadi sumber nutrisi bagi mikroba yang selanjutnya diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana. Melalui fitoremediasi, proses penurunan pencemar dalam limbah menggunakan tumbuhan merupakan kerjasama antara tumbuhan dan mikroba yang berada pada tumbuhan tersebut (Hayati, 1992).

Kenaikan removal terjadi hampir pada setiap reaktor. Hal ini menunjukkan tumbuhan uji mempunyai peran yang baik dalam mendukung laju penyerapan unsur hara yang ada. Sehingga semakin tinggi aktivitas fotosintesis akan berakibat semakin tinggi pula oksigen terlarut yang dihasilkan yang akan memicu kinerja mikroorganisme dalam meremoval senyawa organik yang ada. Untuk reaktor kontrol juga mengalami kenaikan removal pada hari ke-15 meskipun nilai removal masih berada dibawah nilai removal reaktor uji fitoremediasi, hal ini dikarenakan kandungan organik yang terdapat di dalam reaktor kontrol hanya sedikit, sehingga mikroorganisme yang terdapat di reaktor kontrol tidak seberapa efektif dalam meremoval senyawa organik yang terdapat di dalam reaktor kontrol.

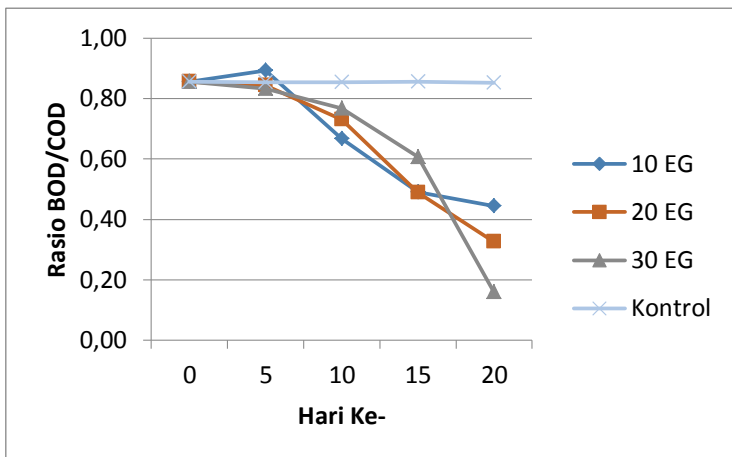
Tumbuhan memegang peranan dalam penyediaan oksigen yang secara prinsip terjadi karena adanya proses fotosintesis. Oksigen akan mengalir ke akar tumbuhan melalui batang setelah berdifusi melalui pori-pori daun sehingga akan terbentuk zona rizosfer yang kaya akan oksigen diseluruh permukaan akar (Suprihatin, 2014)

4.5.3 Analisa Rasio BOD/COD

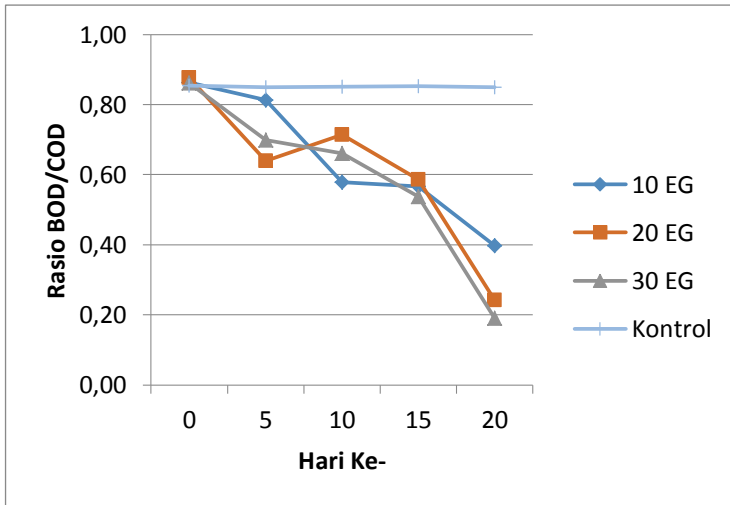
Analisa rasio BOD/COD dilakukan untuk mengetahui tingkat biodegradabilitas zat organik yang terkandung dalam limbah. Air limbah yang bersifat stabil memiliki rasio BOD/COD kurang dari 0,1 dan jika lebih dari 0,1 maka air limbah memiliki bersifat biodegradable (Mangkoedihardjo, 2010). Tingkat penurunan oleh mikroba dapat dievaluasi dengan rata-rata hasil bagi biodegradabilitas yang terukur sebagai rasio BOD/COD. Nilai COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam air secara kimiawi. Jika bahan organik yang belum diolah dibuang ke badan perairan, maka bakteri akan menggunakan oksigen untuk proses pembusukannya. Nilai COD biasanya lebih tinggi dari pada nilai BOD, karena bahan buangan yang dapat dioksidasi melalui proses kimia lebih banyak daripada bahan buangan yang dapat dioksidasi melalui proses biologi. Hasil analisa terhadap rasio BOD/COD dapat dilihat pada Gambar 4.25 hingga Gambar 4.28

Rasio BOD/COD limbah tersebut berada diantara 0,2 – 0,8. Hal ini menandakan bahwa limbah *laundry* bersifat

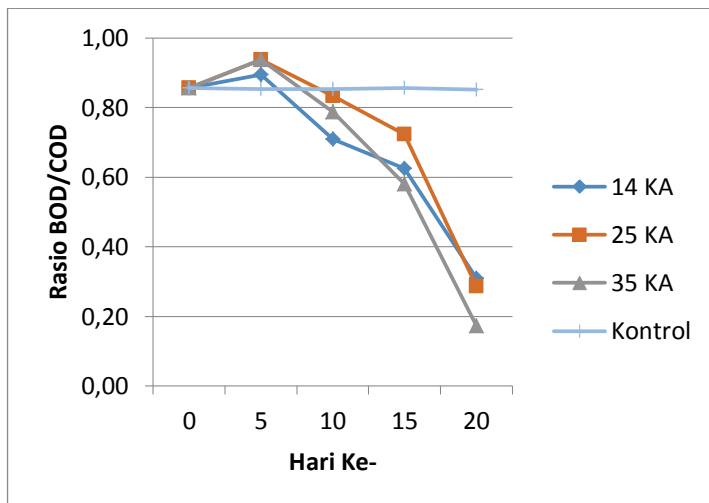
biodegradable. Adanya kenaikan dan penurunan rasio BOD/COD merupakan hasil dari pengadaptasian tumbuhan terhadap bahan pencemar. Berdasarkan data yang disajikan pada Gambar 4.25 hingga Gambar 4.28 rasio BOD/COD mengalami kenaikan pada pengamatan hari ke-5. Hal ini mengindikasikan bahwa pada hari tersebut merupakan zona biodegradasi dimana bahan pencemar dapat diuraikan oleh mikroorganisme, sehingga terbukti terjadi kenaikan removal BOD yang menyebabkan penurunan konsentrasi BOD pada rentang waktu tersebut. Menurut Mangkoedihardjo dan Samudro (2010) bahwa tumbuhan mengeluarkan eksudat melalui akar yang mengandung asam organik, fenol, enzim, dan protein yang semuanya mudah terurai secara *microbial*. Tetapi pada pengamatan hari ke- 10 ada beberapa reaktor nilai rasio BOD/COD mengalami penurunan namun masih berada pada rentang sifat *biodegradable*. Turunnya rasio BOD/COD dikarenakan removal BOD lebih besar dibandingkan dengan removal COD. Hal ini membuktikan karena tumbuhan cenderung mengoksidasi senyawa organik *biodegradable* dibandingkan dengan senyawa *non-biodegradable*.



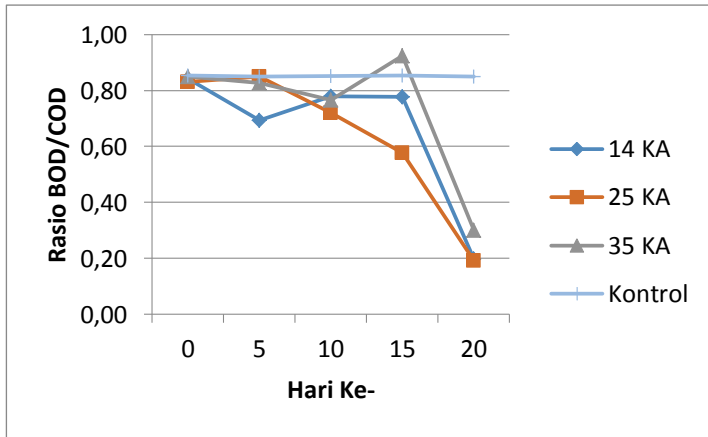
Gambar 4. 25 Rasio BOD/COD Tumbuhan Eceng gondok pada Waktu Gelap



Gambar 4. 26 Rasio BOD/COD Tumbuhan Eceng gondok pada Waktu Terang



Gambar 4. 27 Rasio BOD/COD Tumbuhan Kayu apu pada Waktu Gelap



Gambar 4. 28 Rasio BOD/COD Tumbuhan Kayu apu pada Waktu Terang

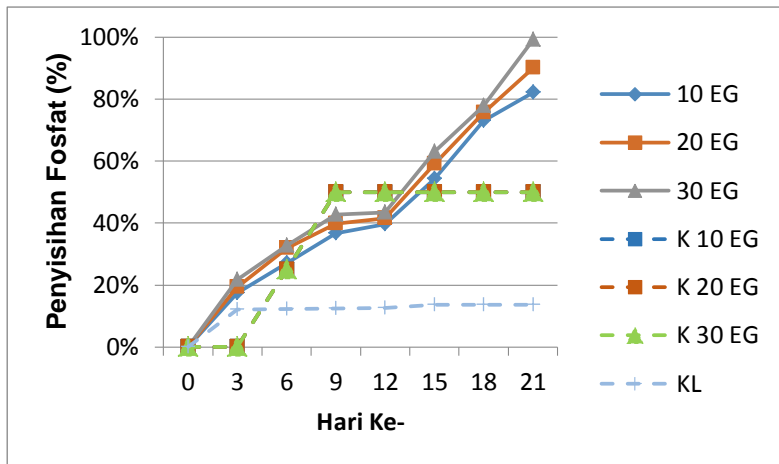
Biodegradasi didefinisikan sebagai suatu proses degradasi senyawa organik oleh mikroorganisme, baik di tanah, perairan, atau pada instalasi pengolahan air limbah (Dwipayana dan Ariesyady, 2010). Berkurangnya zat-zat organik sebagai akibat dari proses biodegradasi dalam limbah, akan menurunkan nilai BOD (Fatha, 2007). Hal itu karena oksigen yang terlarut di dalam air diserap oleh mikroorganisme untuk memecah atau mendegradasi bahan buangan organik sehingga menjadi bahan yang mudah menguap.

4.5.4 Analisa Parameter Fosfat

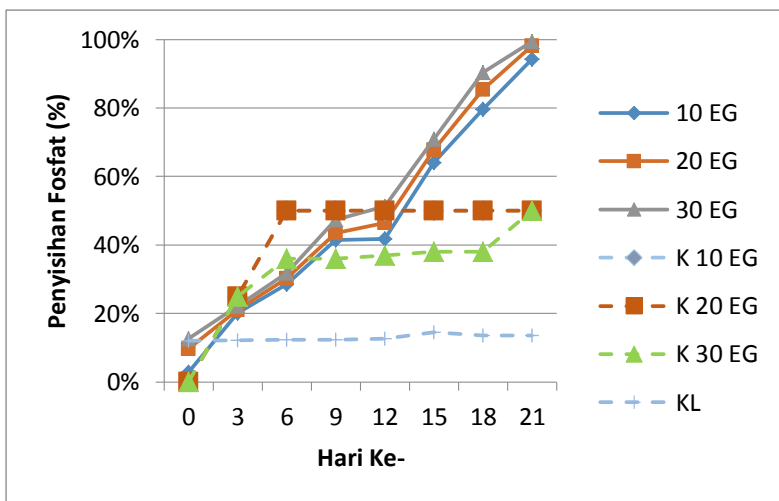
Analisa fosfat bertujuan untuk mengetahui perubahan konsentrasi fosfat pada air limbah laundry sebelum dan sesudah remediasi. Metode uji yang digunakan yaitu sesuai dengan SM 4500-P.D. Pengambilan sampel dilakukan pada saat pagi hari pukul 06.00 dan sore hari pukul 18.00. Pengambilan sampel dilakukan 1 hari 2x bertujuan untuk mengetahui kandungan limbah saat tumbuhan sebelum dan sesudah terpapar sinar matahari, dimana pada saat intensitas cahaya sangat tinggi (disaat siang hari) reaksi fotosintesis berjalan lebih besar daripada waktu lainnya karena banyaknya

persediaan cahaya matahari. Pengambilan sampel dilakukan pada hari ke- 3, 6, 9, 12, 15, 18 dan 21. Berikut hasil analisa fosfat pada masing-masing reaktor, dapat dilihat pada Gambar 4.29 hingga Gambar 4.32.

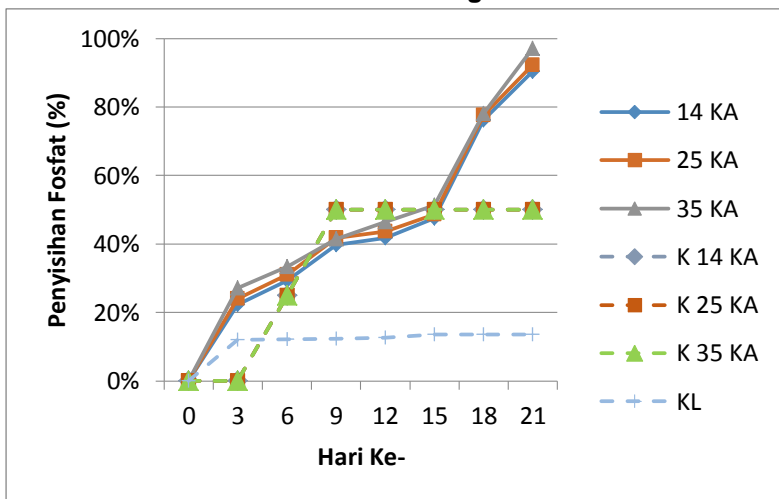
Dapat dilihat pada Gambar 4.29 hingga Gambar 4.32 didapatkan data penurunan fosfat untuk masing-masing reaktor. Pada Gambar 4.29 dan Gambar 4.30 untuk reaktor Eceng gondok pada pengamatan awal yaitu terjadi pada hari ke- 3, tampak bahwa presentasi penyisihan fosfat pada masing-masing reaktor terjadi kenaikan yaitu reaktor limbah memiliki efisiensi sebesar 17% untuk kerapatan 10 mg/cm² Eceng gondok, 19% untuk kerapatan 20 mg/cm² Eceng gondok, 22% untuk kerapatan 30 mg/cm² Eceng gondok pada waktu gelap. Sedangkan pada waktu terang reaktor limbah memiliki efisiensi sebesar 20% untuk kerapatan 10 mg/cm² Eceng gondok, 21% untuk kerapatan 20 mg/cm² Eceng gondok, 22% untuk kerapatan 30 mg/cm² Eceng gondok.



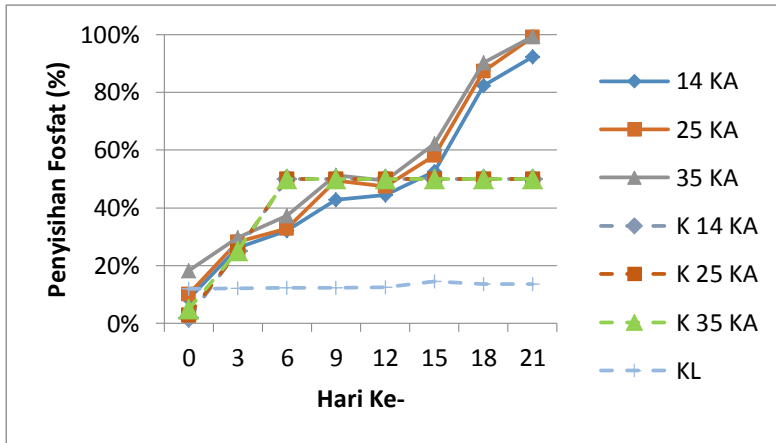
Gambar 4. 29 Penyisihan Fosfat tumbuhan Eceng gondok pada Waktu Gelap



Gambar 4. 30 Penyisihan Fosfat tumbuhan Eceng gondok Waktu Terang



Gambar 4. 31 Penyisihan Fosfat tumbuhan Kayu apu pada Waktu Gelap



Gambar 4. 32 Penyisihan Fosfat tumbuhan Kayu apu pada Waktu Terang

Pada Gambar 4.31 dan Gambar 4.32 untuk reaktor tumbuhan Kayu apu juga mengalami kenaikan pada pengamatan hari ke-3, yaitu sebesar 22% untuk kerapatan 14 mg/cm² Kayu apu, 23% untuk kerapatan 25 mg/cm² Kayu apu, 27% untuk kerapatan 35 mg/cm² Kayu apu pada waktu gelap. Sedangkan pada waktu terang, reaktor limbah memiliki efisiensi sebesar 26% untuk kerapatan 14 mg/cm² Kayu apu, 28% untuk kerapatan 25 mg/cm² Kayu apu, 30% untuk kerapatan 35 mg/cm² Kayu apu. Kenaikan nilai dimulai dari pengamatan hari ke- 18 yaitu mencapai 80%-99%. Hal ini dikarenakan banyaknya tunas-tunas baru yang muncul pada masing-masing reaktor, sehingga kandungan fosfat dapat berkurang. Penyerapan fosfat melalui akar kemudian ke bagian-bagian tumbuhan dan terakumulasi lagi hingga mengalami peningkatan removal pada kandungan fosfat. Terjadinya proses penguraian oleh mikroorganisme yang terjadi di zona akar atau yang lebih dikenal dengan istilah rizodegradasi (Mangkoedihardjo dan Samudro 2010). Akar tumbuhan berperan sangat baik menyerap fosfat yang terkandung dalam air limbah (Hermawati dkk, 2005). Sedangkan untuk reaktor kontrol mengalami kenaikan removal meskipun dibawah removal reaktor uji. Berdasarkan Gambar 4.29 hingga

Gambar 4.32, reaktor dengan kerapatan yang lebih besar mampu mereduksi lebih banyak konsentrasi fosfat dan juga terbukti pada konsentrasi BOD dan COD . Hal ini dikarenakan kebutuhan nutrisi yang besar untuk menunjang pertumbuhan seluruh tumbuhan dalam satu reaktor. Ion fosfat merupakan sumber P bagi tanaman. Pada penelitian ini, ion fosfat diambil oleh akar tanaman Eceng gondok dan Kayu apu sebagai nutrisi bagi tanaman sehingga semakin lama tanaman hidup dalam media limbah semakin kecil konsentrasi fosfat dalam limbah (Padmaningrum dkk, 2014).

4.5.5 Analisa pH dan Suhu

Analisa pH dan suhu bertujuan untuk mengetahui kondisi keasaman dan suhu air limbah pada tiap reaktor Suhu dan pH diamati sebagai parameter pendukung dalam penelitian ini. Analisa pH dan suhu dilakukan setiap hari selama 20 hari. Data pH dapat dilihat pada Lampiran B, Sedangkan data suhu dapat dilihat pada Lampiran B.

Dalam penelitian ini derajat keasaman atau pH digunakan sebagai parameter pendukung yang diamati setiap pengambilan sampel. pH air limbah cenderung meningkat dan kemudian menurun. Hasil analisa pH menunjukkan bahwa pH pada air limbah berfluktuasi pada kisaran 5,4 – 8,5. Semakin lama waktu pemaparan, pH masing-masing reaktor menuju ke arah netral. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengolahan air limbah dapat mempengaruhi nilai pH air yang diolah menjadi lebih rendah.

Perubahan nilai pH dapat disebabkan karena adanya aktifitas penyerapan nutrisi oleh tumbuhan. Ketika akar tumbuhan menyerap ion positif, tumbuhan juga akan mengeluarkan ekskret berupa ion positif (H^+) ke lingkungan. Begitu juga ketika yang diserap berupa ion negatif, tumbuhan akan mengeluarkan ekskret berupa ion negatif (OH^-). Penyerapan nutrisi oleh tumbuhan berlangsung secara terus menerus, sehingga ketika ion positif yang diserap lebih banyak maka nilai pH akan meningkat, begitu juga sebaliknya (Krikke, 2008). Nilai pH menunjukkan konsentrasi ion H^+ dan ion OH^- pada limbah. Semakin tinggi ion H^+ menandakan bahwa limbah

tersebut bersifat asam. Semakin tinggi ion OH^- menandakan bahwa limbah tersebut bersifat basa.

Perubahan nilai pH ini disebabkan adanya proses fotosintesis karena pH berkaitan dengan nilai karbondioksida (CO_2) karena nilai pH ini disebabkan karena tumbuhan mengeluarkan CO_2 sebagai hasil samping respirasi saat malam hari yang menyebabkan berkurangnya ion H^+ sehingga kondisi air limbah lebih bersifat basa. Semakin lama konsentrasi BOD dan COD semakin menurun dan mendekati stabil, maka pH menjadi turun dan mendekati netral. Kenaikan pH disebabkan adanya proses fotosintesis, denitrifikasi, pemecahan nitrogen organik dan reduksi sulfat (Kholidiyah, 2010)

Selama uji fitoremediasi juga dilakukan pengukuran suhu untuk mengetahui suhu air limbah pada tiap reaktor. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa besarnya suhu antar reaktor cenderung sama, yaitu berkisar antara $23\text{--}30^\circ\text{C}$. Hal ini dikarenakan setiap reaktor diletakkan pada satu lokasi. Peningkatan maupun penurunan suhu yang terjadi juga sama dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Perubahan suhu terjadi karena adanya pengaruh dari radiasi matahari, dapat dilihat pada Lampiran B, bahwa terjadi peningkatan suhu dikarenakan pengaruh dari radiasi matahari. Suhu memiliki peran dalam proses fotosintesis, sehingga ketika suhu meningkat produksi energi cenderung meningkat pula. Namun suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi protein enzim, sehingga mempengaruhi penyerapan mineral. Sedangkan jika suhu terlalu rendah dapat menyebabkan pertumbuhan menjadi lambat bahkan berhenti, karena kinerja enzim juga dipengaruhi oleh suhu. Pada suhu yang sangat rendah proses fotosintesis juga dapat berhenti. Suhu optimum fitoremediasi berkisar antara $25^\circ\text{--}30^\circ\text{C}$ (Rosita dkk, 2013).

4.5.6 Analisa Morfologi Tumbuhan

Analisa morfologi tumbuhan bertujuan untuk mengetahui pengaruh air limbah terhadap perkembangan tumbuhan dengan membandingkan antara tumbuhan tumbuh dengan limbah dibandingkan dengan tumbuhan yang tumbuh pada air PDAM.

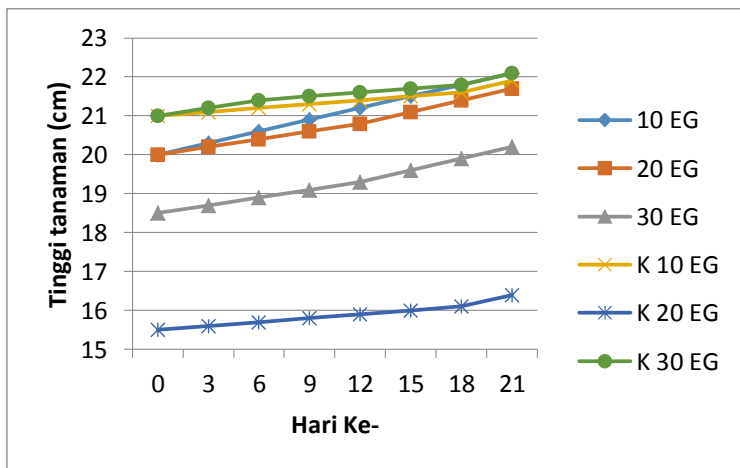
Analisa morfologi tumbuhan dilakukan dengan mengamati karakteristik fisik tumbuhan berupa lebar daun dan tinggi tanaman untuk tumbuhan Eceng gondok. Pengamatan terhadap lebar daun dan jumlah daun untuk tumbuhan Kayu apu.

- **Analisa Karakteristik Fisik Tumbuhan Eceng gondok**

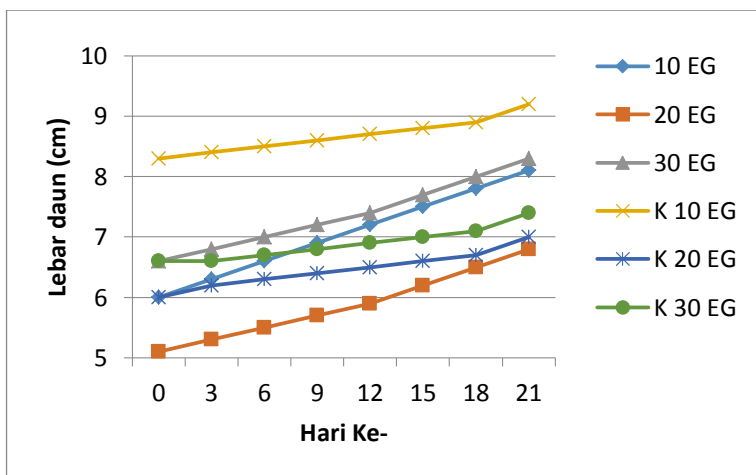
Hasil analisa terhadap karakteristik tinggi tanaman dapat dilihat pada Gambar 4.33. Hasil analisa pada lebar daun Eceng gondok dapat dilihat pada Gambar 4.34

Terlihat pada Gambar 4.33 bahwa terjadi peningkatan tumbuhan dari tinggi tanaman saat terpapar limbah. Pertambahan tinggi tanaman yang terpapar limbah lebih meningkat dari pada pertambahan tinggi pada reaktor kontrol pada masing-masing reaktor. Selisih rata-rata pertumbuhan tinggi Eceng gondok pada reaktor uji dan reaktor kontrol mencapai 1 cm - 2 cm. Hal ini berkaitan dengan proses fitodegradasi pada saat uji fitoremediasi. Kontaminan diserap dan kemudian dimanfaatkan untuk proses metabolisme tumbuhan Eceng gondok. Hasil metabolisme ini berupa sel-sel baru yang menyebabkan pertambahan tinggi tumbuhan Eceng gondok. tumbuhan akan menyerap bahan pencemar yang kemudian akan digunakan dalam produksi sel-sel pertumbuhan.

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap perkembangan daun Eceng gondok pada Gambar 4.34 menunjukkan bahwa perkembangan lebar daun yang terpapar limbah lebih meningkat dari pada perkembangan lebar daun pada reaktor kontrol meskipun jarak pertambahan tidak terlalu berbeda jauh dengan reaktor kontrol. Selisih rata-rata perkembangan lebar daun Eceng gondok pada reaktor uji dan reaktor kontrol mencapai 1 cm - 2 cm. Hal ini berkaitan dengan proses fitodegradasi pada saat uji fitoremediasi. Kontaminan diserap dan kemudian dimanfaatkan untuk proses metabolisme tumbuhan Eceng gondok fitoproses dalam tubuh tumbuhan. Fitoproses yang terjadi meliputi fitoekstraksi yang merupakan proses penyerapan kontaminan dari medium tumbuhan.



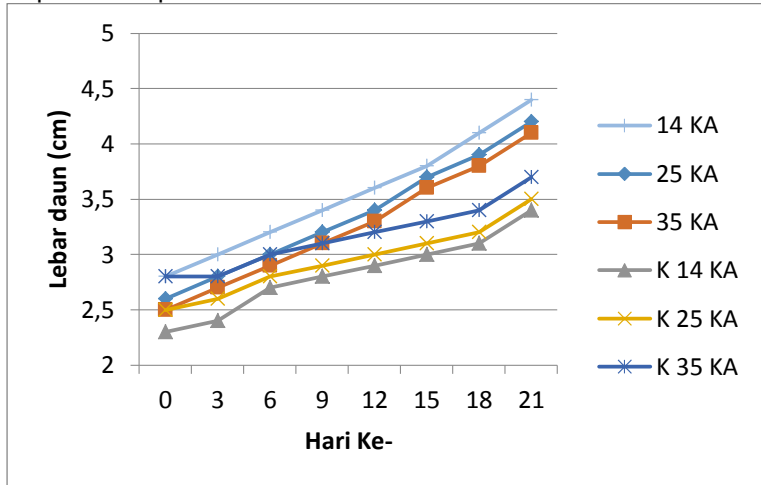
Gambar 4. 33 Tinggi Tanaman Eceng gondok



Gambar 4. 34 Lebar daun Tanaman Eceng gondok

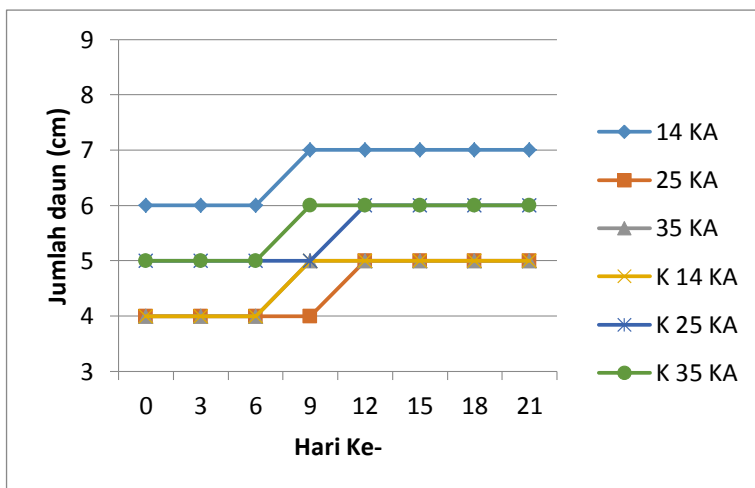
- **Analisa Karakteristik Fisik Tumbuhan Kayu apu**

Hasil analisa terhadap karakteristik lebar daun dapat dilihat pada Gambar 4.35. Hasil analisa pada jumlah daun Kayu apu dapat dilihat pada Gambar 4.36



Gambar 4. 35 Lebar daun Tanaman Kayu apu

Berdasarkan Gambar 4.35 dapat dilihat bahwa lebar daun tumbuhan Kayu apu pada setiap reaktor cenderung mengalami pertambahan. Adanya pertambahan ini menunjukkan bahwa Kayu apu dapat tetap tumbuh ketika terpapar air limbah. Pertambahan lebar daun Kayu apu yang terpapar limbah lebih meningkat dari pada pertambahan lebar daun pada reaktor kontrol pada masing-masing reaktor. Selisih rata-rata pertumbuhan lebar daun pada reaktor uji dan reaktor kontrol mencapai 1 cm - 2 cm. Hal ini berkaitan dengan proses fitodegradasi pada saat uji fitoremediasi. Kontaminan diserap dan kemudian dimanfaatkan untuk proses metabolisme tumbuhan Kayu apu. Hasil metabolisme ini berupa sel-sel baru yang menyebabkan pertambahan tinggi tumbuhan Kayu apu. tumbuhan akan menyerap bahan pencemar yang kemudian akan digunakan dalam produksi sel-sel pertumbuhan.



Gambar 4. 36 Jumlah daun Tanaman Kayu apu

Berdasarkan Gambar 4.36 dapat dilihat bahwa jumlah daun tumbuhan Kayu apu pada setiap reaktor cenderung mengalami pertambahan. Adanya pertambahan ini menunjukkan bahwa Kayu apu dapat tetap tumbuh ketika terpapar air limbah. Pertambahan jumlah daun Kayu apu yang terpapar limbah lebih meningkat dari pada pertambahan lebar daun pada reaktor kontrol pada masing-masing reaktor. Selisih rata-rata perkembangan jumlah daun Kayu apu pada reaktor uji dan reaktor kontrol mencapai 1-2 helai daun. Hal ini dikarenakan memang pertambahan daun membutuhkan waktu yang relatif lama berdasarkan pengamatan laju pertumbuhan Kayu apu.

4.5.7 Uji Statistik

Dalam penelitian ini, hasil analisa parameter utama berupa BOD, COD dan fosfat dalam masing-masing reaktor diuji signifikansi dalam uji statistik. Uji statistik bertujuan untuk mengetahui pengaruh antar masing-masing variabel dalam penelitian ini. Uji signifikansi dalam penelitian ini menggunakan Anova dengan *software Minitab 16.0*. Uji anova bertujuan untuk mengetahui signifikansi dari masing-masing variabel. Hasil uji

statistik Anova ini menunjukkan variabel manakah yang paling berpengaruh terhadap efisiensi removal BOD, COD dan fosfat pada limbah *laundry*.

Uji statistik ini menggunakan uji anova dengan tingkat kepercayaan sebesar 95%. Pengaruh yang signifikan dalam uji statistik ditunjukkan dengan P-value yang lebih kecil dari 0,05 (P-value <0,05). Nilai P-value <0,05 menunjukkan bahwa variabel tersebut berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi removal BOD, COD, dan fosfat, sebaliknya jika nilai P-value >0,05 maka variabel tersebut tidak berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi removal BOD, COD, dan fosfat pada limbah *laundry*. Hasil uji Anova disajikan pada Tabel 4.11 untuk parameter BOD, COD dan fosfat.

Tabel 4. 11 Hasil Uji Anova Parameter BOD, COD, dan fosfat

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Limbah	1	1394492	1394492	1394492	129,65	0,000
Waktu	1	1834	1834	1834	0,17	0,681
X	2	682148	682148	341074	31,71	0,000
Tumbuhan	5	433	433	87	0,01	1,000
Error	62	666885	666885	10756		
Total	71	2745792				

Dari hasil analisa tersebut diketahui bahwa pengaruh jenis limbah memiliki nilai P-value<5% yang berarti variabel ini berpengaruh signifikan terhadap BOD, COD, dan fosfat. Sedangkan untuk jenis waktu (gelap/terang) dan tumbuhan memiliki nilai P-value >5% yang berarti tidak berpengaruh signifikan. Pada variabel gabungan atau interaksi jenis limbah dan waktu (terang dan gelap) memiliki nilai P-value>5% yang berarti variabel ini tidak berpengaruh signifikan terhadap BOD, COD dan fosfat. Sedangkan pada variabel gabungan atau interaksi limbah dan tumbuhan memiliki nilai P-value>5% yang berarti variabel ini tidak berpengaruh signifikan terhadap BOD, COD, dan fosfat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Tumbuhan Eceng gondok menyisihkan BOD sebesar 98% atau setara dengan 8 mg/L, COD sebesar 96% atau setara dengan 19 mg/L, fosfat sebesar 99% atau setara dengan 0,07 mg/L pada kerapatan 30 mg/cm² dengan densitas 0,02 gr/cm³. Sedangkan tumbuhan Kayu apu mampu menyisihkan BOD sebesar 98% atau setara dengan 6 mg/L, COD sebesar 96% atau setara dengan 17 mg/L, fosfat sebesar 99% atau setara dengan 0,07 mg/L pada kerapatan 35 mg/cm² dengan densitas 0,04 gr/cm³.
2. Dalam penelitian ini kerapatan tumbuhan yang digunakan yaitu 10 mg/cm², 20 mg/cm², 30 mg/cm² Eceng gondok dan 14 mg/cm², 25 mg/cm², 35 mg/cm² Kayu apu. Dari hasil penelitian didapat, tumbuhan Eceng gondok dengan kerapatan 30 mg/cm² memiliki efisiensi removal yang tertinggi. Untuk tumbuhan Kayu apu dengan kerapatan 35 mg/cm² memiliki efisiensi removal yang lebih tinggi.

5.2 Saran

- Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya adanya pengujian terhadap bakteri yang terdapat dalam limbah
- Untuk penelitian selanjutnya dilakukan analisa berat basah dan berat kering
- Untuk penelitian selanjutnya dapat dicoba menggunakan tumbuhan yang dapat meremediasi limbah *laundry*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Ai, S, N. 2010. Evolusi Fotosintesis pada Tumbuhan. Program Studi Biologi FMIPA, Universitas Sam Ratulangi
- Anonim. 2009. Center for Aquatic and Invasive Plants. <http://plants.ifas.ufl.edu/>. Diakses pada 10 Januari 2017
- Anonim. 2004. Pistia stratiotes. jpg. https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Pistia_stratiotes0.jpg. Diakses pada 10 Januari 2017
- APHA, AWWA, WEF. 1999. Standard methods for the examination of water and wastewater 20th edition. Washington: American Public Health Assosiation
- Artiyami, A. 2012. Uji Kemampuan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes L.*) dalam Menurunkan Konsentrasi Warna pada Limbah Laundry. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITN.
- Asmadi dan Suharno. 2012. Dasar – Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah. Gosyen Publishing : Yogyakarta
- Ayun, Q, D. 2015. Tugas Akhir: Penurunan Konsentrasi Ammonium (NH₄⁺) pada Limbah Laundry dengan Tumbuhan Cattail (*Typha angustifolia*) dan Kayu Apu (*Pistia stratiotes*). Teknik Lingkungan ITS, Surabaya
- Cut, A, F., Sutisna, M., Pharmawati, K. 2013. Fitoremediasi Phospat dengan menggunakan Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) pada Limbah Cair Industri kecil Pencucian Pakaian (Laundry). Jurusan Teknik Lingkungan Itenas, Bandung
- Dani Ari, S, N. 2015. Pengaruh Rasio Jumlah Tumbuhan Cattail dan Kayu apu terhadap Pemulihan Fosfat Air Limbah Laundry. Teknik Lingkungan ITS, Surabaya
- Dewi, F., Faisal, M., Mariana. 2015. Efisiensi Penyerapan Phospat Limbah Laundry Menggunakan Kangkung Air (*Ipomoea aquatic forsk*) dan Jeringau (*Acorus calamus*). Jurnal Teknik Kimia USU, Vol. 4, No. 1
- El-Gawad Hanan S. Abd. 2014. *Aquatic environmental monitoring and removal efficiency of detergents*. Central Laboratory for Environmental Quality Monitoring, National Water Research

- Center, Ministry of Water Resources and Irrigation, Egypt. 28 (2014) 51–64
- Engelstad, O. P. 1997. Teknologi Dan Penggunaan pupuk. Edisi Ke – 3. UGM- Press. Yogyakarta
- Greenberg A.E., Eaton A.D., Clesceri L.S., Rice E.W. 2005. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater: 21th Edition*. American Public Health Association Publisher: Washington DC
- Hayati, N. 1992. Kemampuan eceng gondok dalam mengubah sifat fisik kimia limbah cair pabrik pupuk urea dan asam format. Bandung: Pasca sarjana biologi Institut Teknologi Bandung.
- Hermawati, E., Wiryanto., Solichatun. 2005. Fitoremediasi Limbah Detergen Menggunakan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) dan Genjer (*Limnocharis flava* L). Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta. Vol 7 No 2: 115-124
- Khiatuddin, M. 2003. Pelestarian Sumber Daya Air Dengan Teknologi Rawa. Bandar Lampung
- Kholidiyah N, 2010. Respon Biologis Tumbuhan Eceng Gondok sebagai Biomonitoring Pencemaran Logam Berat Cadmium (Cd) dan Plumbum (Pb) pada Sungai Pembuangan Lumpur Lapindo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
- Lestari, G.W., Solichatun, Sugiyarto. 2005. Pertumbuhan, Kandungan Klorofil, dan Laju Respirasi Tanaman Garut (*Maranta arundinacea* L.) setelah Pemberian Asam Giberelat (GA₃). Jurusan Biologi FMIPA UNS
- Li, Y, Zhang, S, Jiang, W. 2012. *Cadmium Accumulation, Activities of Antioxidant Enzymes, and Malondialdehyde (MDA) Content in Pistia Stratiotes*. Environ Sci Pollut Res (2013) 20: 1117-1123
- Lu, Q, He Z.L, Gruetz, D.A, Strofella, P.J, Yang X.E. 2010. *Phytoremediation to Remove Nutrients Improve Eutrophic Stormwaters Using Water Lettuce (Pistia stratiotes L.)*. Environ Sci Pollut Res 17: 84-96

- Lu, Q, He Z.L, Gruetz, D.A. 2011. *Uptake and Distribution of Metals by Water Lettuce (Pistia stratiotes L.)*. Environ Sci Pollut Res (2011) 18: 978-986
- Mamonto, H . 2013. Uji Potensi Kayu Apu (*Pistia stratiotes L*) Dalam Penurunan Kadar Sianida (CN) Pada Limbah Cair Penambangan Emas. Program Studi Kesehatan Masyarakat Universitas Negeri Gorontalo
- Mangkoedihardjo, S dan G. Samudro. 2010. Fitoteknologi Terapan. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Metcalf dan Eddy. 1991. *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse*. New Delhi: McGraw-Hill Book Company.
- Metcalf & Eddy 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. MC. Graw- Hill. New York. America
- Meta, Y., dkk. 2013. Efektivitas dan Efisiensi Fitoremediasi Orthofosfat pada Detergen dengan Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). Programme Study Management of Aquatic Resources Faculty of Marine Science and Fisheries. Maritim Raja Ali Haji of University
- Mitha, R PJH. 2007. Fitoremediasi Air yang Tercemar Minyak Pelumas Bekas dengan Memanfaatkan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). Jurusan Teknik Lingkungan ITS, Surabaya.
- Ningsih, A, D. 2017. Uji Penurunan Kandungan BOD,COD, dan Warna Pada Limbah Cair Pewarnaan Batik menggunakan *Scirpus grossus* dan *Iris pseudacorus* dengan Sistem Pemaparan *Intermittent*. Teknik Lingkungan ITS, Surabaya
- Oteng, H., dkk. 2011. Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*) dan Kiambang (*Salvina Moleste D.Mitch*) Untuk Meningkatkan Kualitas Air Greywater Hidroponik Tanaman Selada.
- Padmaningrum, T, R., dkk. 2014. Pengaruh Biomasa Melati Air (*Echinodorus paleaefolius*) dan Teratai (*Nyphaea firecrest*) terhadap Kadar Fosfat, BOD, COD TSS dan derajat Keasaman Limbah Cair *Laundry*.
- Pertamawati. 2009. Pengaruh Fotosintesis terhadap Pertumbuhan Tanaman Kentang (*Solanum Tuberosum L.*) dalam Lingkungan Fotoautotrof secara Invitro. Pusat TFM - BPP Teknologi

- Purba, E., Khairunisa, C, A. 2012. Kajian Awal Laju Reaksi Fotosintesis untuk Penyerapan Gas CO₂ Menggunakan Mikroalga *Tetraselmis Chuii*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
- Puspitahati, C. 2012. Studi Kinerja Biosand Filter dalam Mengolah Limbah Laundry dengan Parameter Fosfat. Teknik Lingkungan ITS, Surabaya. Teknik Lingkungan ITS, Surabaya
- Putri, P, A. 2016. Uji Penurunan Kandungan BOD dan COD pada Limbah Cair Industri Batik Menggunakan Tumbuhan Air *Egeria densa* dan *Salvina molesta*. Teknik Lingkungan ITS, Surabaya. Teknik Lingkungan ITS, Surabaya
- Retno, P.M. 2013. "Inventarisasi Tumbuhan Bawah di Kawasan Timur Danau Limboto". Jurusan Biologi Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) Universitas Negeri Gorontalo
- Salundik. 1998. Pengolahan Limbah Cair Usaha Peternakan Sapi Perah dengan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). Program Studi Pascasarjana IPB
- Sibarani, R. 2015. Penurunan Konsentrasi *Linier Alkilbenzen Sulfonat* (LAS) dalam Limbah *Laundry* Menggunakan Eceng gondok dan Walingi. Teknik Lingkungan ITS, Surabaya
- Standar Nasional Indonesia, *Cara Uji Keasaman Menggunakan alat pH Meter*, (SNI 06-6989.11-2004).
- Standar Nasional Indonesia, *Cara Uji Suhu Menggunakan Termometer*, (SNI 06-6989.23-2005).
- Standar Nasional Indonesia, *Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (KOK) Refluks Terbuka dengan Refluks Terbuka Secara Titrimetri*, (SNI 06-6989.73-2009)
- Standar Nasional Indonesia, *Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia*, (SNI 6989.72:2009)
- Subroto, M.A. 1996. Fitoremediasi Dalam: Prosiding Pelatihan dan Lokakarya Peranan Bioremediasi Dalam Pengelolaan Lingkungan. Cibinong, 24-25 Juni 1996.
- Suprihatin, H. 2014. Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo Dan Alternatif Pengolahannya. Tugas Akhir untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Pembangunan, Surabaya

- Ulfin, I. Amirudin, P. Zainuddin, M. 2000. Pengaruh Logam Berat Pb pada Penyerapan Logam Berat Cd dalam Larutan oleh Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.). Prosiding SENAKI II, Kimia-FMIPA, ITS, Surabaya
- U.S. Enviromental Protection Agency. 1999. Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air - Second Edition
- U.S. Enviromental Protection Agency. 2012. Ecological Effects Test Guidelines: Algal Toxicity
- U.S. Enviromental Protection Agency. 2012. Ecological Effects Test Guidelines: Aquatic Plants Field Study
- Velázquez-Fernández, B, Jesus, B., Martínez-Rizo, A, B., Ramírez-Sandoval, M., Domínguez-Ojeda, D. 2012. Agricultural and Biological Sciences Pesticides - Recent Trends in Pesticide Residue Assay. ISBN 978-953-51-0681-4
- Vinod, D., Neha, S., Shalini, S., Archana, S., Aparna, P., 2012. Effect of detergent use on water quality in Rewa city of India. J. Appl. Chem.(IOSRJAC) 1 (4), 28–30.
- Wandana, R., Laksmono, R. 2012. Penggunaan Tanaman Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*) untuk Pengolahan Limbah Laundry. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan Vol. 5 No. 2
- Wardhana, Wisnu Arya. 2001. Dampak Pencemaran Lingkungan. Yogyakarta
- Widya, C., Zaman, B., Syafrudin. 2015. Pengaruh Waktu Tinggal dan Jumlah Kayu Apu terhadap Penurunan Konsentrasi BOD, COD dan Warna. Program Studi Teknik Lingkungan Uversitas Diponegoro
- Ying, G.G.F., 2006. Behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment. Environ. Int. 32 (3), 417–431.
- Zoller, U., 2009, “ Handbook of Detergents”, Taylor and Francis Group, United States of America

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A

PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

1. Analisis BOD₅

Alat dan Bahan:

- 1 buah labu ukur berukuran 500 mL
- 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL
- Inkubator suhu 20°C
- Gelas ukur 100 mL 1 buah
- Erlenmayer 250 mL 1 buah
- Beaker glass 50 mL 1 buah
- Pipet 5 mL dan 10 mL
- Pipet tetes 1 buah
- Larutan mangan sulfat (MnSO₄)
- Larutan pereaksi oksigen
- Larutan asam sulfat (H₂SO₄) pekat
- Indikator amilum 0,5%
- Larutan standart Natrium tiosulfat 0,0125 N

Prosedur Analisis:

- a. Ditentukan pengenceran. Untuk menganalisis BOD harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka PV sebagai berikut.

$$P = \frac{\text{Angka PV}}{3 \text{ atau } 5}$$

- b. Disiapkan 1 buah labu takar 500 mL dan menuangkan sampel sesuai perhitungan pengenceran, lalu menambahkan air pengencer sampai batas labu
- c. Disiapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL
- d. Dituangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah
- e. Dituangkan air pengencer ke botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah
- f. Dimasukkan kedua botol winkler 300 mL ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari
- g. Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan

prosedur sebagai berikut:

- Ditambahkan 1 mL larutan mangan sulfat
 - Ditambahkan 1 mL larutan pereaksi oksigen
 - Botol ditutup dengan hati-hati lalu dibolak-balikkan beberapa kali
 - Gumpalan dibiarkan mengendap selama 5-10 menit
 - Ditambahkan 1 mL asam sulfat pekat, lalu tutup dibolak-balikkan
 - Dituangkan 100 mL larutan ke dalam erlenmayer 250 mL
 - Ditambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan natrium tiosulfat hingga warna biru hilang
 - Dititrasi dengan natrium tiosulfat 0,0125 N sampai menjadi warna coklat muda
- h. Setelah 5 hari, dilakukan analisis kedua larutan dalam botol winkler 300 mL dengan analisis oksigen terlarut
- i. Dihitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$OT \text{ (mgO}_2\text{/l)} = \frac{a \times N \times 80000}{100 \text{ ml}}$$

Keterangan:

a = volume titran (ml)

N = Normalitas larutan Na-tiosulfat = 0,0125 N

100 mL = volume sampel yang digunakan dalam titrasi

$$BOD^{20}_5 \text{ (mg/l)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

Keterangan:

X₀ = DO sampel pada t = 0 hari

X₅ = DO sampel pada t = 5 hari

B₀ = DO blanko pada t = 0 hari

B₅ = DO blanko pada t = 5 hari

P = derajat pengenceran

2. Analisis COD

Alat dan bahan:

- Larutan kalium dikromat (K₂Cr₂O₇) 0,01 N
- Kristal perak sulfat (Ag₂SO₄) dicampur dengan asam sulfat (H₂SO₄)
- Kristal merkuri sulfat (Hg₂SO₄)
- Larutan standart Fer Ammonium Sulfat (FAS) 0,05 N
- Larutan indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroind)

- Erlenmayer 250 mL 2 buah
- Alat refluks dan pemanasnya
- Pipet 5 dan 10 mL
- Pipet tetes 1 buah
- Beaker glass 50 mL 1 buah
- Gelas ukur 25 mL 1 buah

Prosedur analisis:

- a. Masukkan 1/4 gram kristal Hg_2SO_4 ke dalam masing-masing erlenmayer
- b. Tuangkan 1 mL air sampel dan 1 mL air aquades (sebagai blanko) ke dalam masing-masing erlenmayer
- c. Tambahkan 1,5 mL larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,01 N
- d. Tambahkan 3,5 mL larutan campuran Ag_2SO_4
- e. Menyalakan kompor listrik dan meletakkan tabung COD pada rak COD, kemudian meletakkan rak COD tersebut di atas kompor listrik. Memanaskan selama 2 jam.
- f. Setelah 2 jam, kompor listrik dimatikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin.
- g. Tambahkan 1 tetes indikator Feroiin
- h. Titrasi kedua larutan di erlenmayer tersebut dengan larutan FAS 0,05 N hingga warna menjadi merah coklat
- i. Hitung COD sampel dengan rumus :

$$\text{COD (mg/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{Vol sampel}} \times p$$

Dimana A = ml FAS titran blanko
 B = ml FAS titran sampel
 N = normalitas larutan FAS
 P = pengenceran

3. Analisis fosfat

Alat dan bahan:

- Erlenmayer 100 mL 2 buah
- Ammonium molybdate
- Larutan SnCl_2
- Spektrofotometer

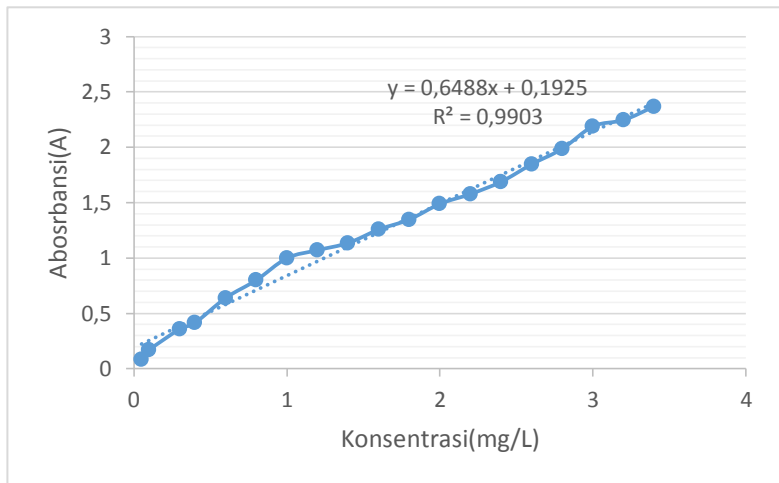
Prosedur analisis :

- a. Ambil 2 buah erlenmayer 100 mL, isi masing-masing dengan sampel air 10 ml dan aquadest (sebagai blanko) sebanyak 10 ml
- b. Ditambahkan 0,5 ml ammonium molybdate
- c. Ditambahkan 1-2 tetes larutan SnCl_2
- d. Dikocok, lalu didiamkan selama 7-10 menit
- e. Dibaca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 655 nm
- f. Dibaca hasil absorbansi, kemudian dihitung menggunakan rumus hasil kalibrasi atau dibaca dengan kurva kalibrasi

Berikut adalah kurva kalibrasi fosfat yang digunakan:

Konsentrasi	Absorbansi
0,05	0,086
0,1	0,17
0,3	0,359
0,4	0,415
0,6	0,64
0,8	0,8
1	0,999
1,2	1,071
1,4	1,136
1,6	1,257

Konsentrasi	Absorbansi
1,8	1,348
2	1,489
2,2	1,578
2,4	1,689
2,6	1,847
2,8	1,987
3	2,189
3,2	2,246
3,4	2,368



4. Uji pH

Alat dan bahan:

- Beaker glass 50 mL 1 buah
- Elektroda pH meter

Prosedur:

- a. Sampel dituang ke dalam beaker glass 50 mL
- b. Elektroda pH meter dikalibrasi dengan aquades terlebih dulu hingga menunjukkan angka 7.0
- c. Dibaca nilai pH dengan mencelupkan elektroda ke dalam beaker glass

5. Uji suhu

Alat dan bahan:

- Termometer
- Reaktor

Prosedur analisis:

- a. Dimasukkan termometer ke dalam reaktor
- b. Ditunggu hingga pembacaan pada termometer menunjukkan angka yang stabil

6. Analisis Biomassa

Alat dan bahan:

- Cawan petri
- Neraca analitik
- Oven dengan suhu 80° C

Prosedur:

- a. Tumbuhan diambil dari media tanam, kemudian dibersihkan dengan menggunakan lap kain atau tisu jika terdapat kotoran yang menempel
- b. Masing-masing bagian tumbuhan (akar, batang, daun) dicacah dengan menggunakan pisau
- c. Sampel tumbuhan yang telah dicacah diletakkan pada cawan petri yang telah ditimbang beratnya
- d. Ditimbang berat tumbuhan + berat cawan (A) dengan menggunakan neraca analitik
- e. Dimasukkan ke dalam oven selama 24-48 jam dengan suhu 80° C
- f. Sampel dimasukkan ke dalam desikator agar suhu sama dengan suhu ruang
- g. Ditimbang beratnya (B) dengan neraca analitik
- h. Dihitung menggunakan rumus :
 - Berat basah = A - berat cawan
 - Berat kering = B – A

LAMPIRAN B
DATA HASIL ANALISA

**Tabel LB. 1 Pengukuran Laju Pertumbuhan Lebar Daun
Eceng gondok**

Hari Ke	Reaktor					
	10 EG	20 EG	30 EG	K 10 EG	K 20 EG	K 30 EG
0	6	5,1	6,6	8,3	6	6,6
3	6,3	5,3	6,8	8,4	6,2	6,6
6	6,6	5,5	7	8,5	6,3	6,7
9	6,9	5,7	7,2	8,6	6,4	6,8
12	7,2	5,9	7,4	8,7	6,5	6,9
15	7,5	6,2	7,7	8,8	6,6	7
18	7,8	6,5	8	8,9	6,7	7,1
21	8,1	6,8	8,3	9,2	7	7,4

**Tabel LB. 2 Pengukuran Laju Pertumbuhan Tinggi tumbuhan
Eceng gondok**

Hari Ke	Reaktor					
	10 EG	20 EG	30 EG	K 10 EG	K 20 EG	K 30 EG
0	20	20	18,5	21	15,5	21
3	20,3	20,2	18,7	21,1	15,6	21,2
6	20,6	20,4	18,9	21,2	15,7	21,4
9	20,9	20,6	19,1	21,3	15,8	21,5
12	21,2	20,8	19,3	21,4	15,9	21,6
15	21,5	21,1	19,6	21,5	16	21,7
18	21,8	21,4	19,9	21,6	16,1	21,8
21	22,1	21,7	20,2	21,9	16,4	22,1

**Tabel LB. 3 Pengukuran Laju Pertumbuhan Lebar Daun
Tumbuhan Kayu apu**

Hari Ke	Reaktor					
	14 KA	25 KA	35 KA	K 14 KA	K 25 KA	K 35 KA
0	2,8	2,6	2,5	2,3	2,5	2,8
3	3	2,8	2,7	2,4	2,6	2,8
6	3,2	3	2,9	2,7	2,8	3
9	3,4	3,2	3,1	2,8	2,9	3,1
12	3,6	3,4	3,3	2,9	3	3,2
15	3,8	3,7	3,6	3	3,1	3,3
18	4,1	3,9	3,8	3,1	3,2	3,4
21	4,4	4,2	4,1	3,4	3,5	3,7

**Tabel LB. 4 Pengukuran Laju Pertumbuhan Jumlah Daun
Tumbuhan Kayu apu**

Hari Ke	Reaktor					
	14 KA	25 KA	35 KA	K 14 KA	K 25 KA	K 35 KA
0	6	4	4	4	5	5
3	6	4	4	4	5	5
6	6	4	4	4	5	5
9	7	4	5	5	5	6
12	7	5	5	5	6	6
15	7	5	5	5	6	6
18	7	5	5	5	6	6
21	7	5	5	5	6	6

Tabel LB. 5 Data Analisa COD

Reaktor	Hari Ke- 0				Hari Ke -3			
	Konsentrasi COD(mg/L)		% Removal		Konsentrasi COD (mg/L)		% Removal	
	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang
10 EG	464	451	0%	3%	315	251	32%	46%
20 EG	464	431	0%	7%	252	239	46%	48%
30 EG	464	412	0%	11%	198	173	57%	63%
Kontrol 10 EG	4	4	0%	0%	4	4	0%	0%
Kontrol 20 EG	4	4	0%	0%	4	4	0%	0%
Kontrol 30 EG	4	4	0%	0%	4	4	0%	0%
14 KA	464	450	0%	3%	264	218	43%	53%
25 KA	464	438	0%	6%	258	152	44%	67%
35 KA	464	412	0%	11%	127	115	73%	75%
Kontrol 14 KA	4	4	0%	0%	4	4	0%	0%
Kontrol 25 KA	4	4	0%	0%	4	4	0%	0%
Kontrol 35 KA	4	4	0%	0%	4	4	0%	0%
Kontrol LTT	464	464	0%	0%	464	464	0%	0%

Lanjutan Tabel LB. 5

Reaktor	Hari Ke -6				Hari Ke- 9			
	Konsentrasi COD (mg/L)		% Removal		Konsentrasi COD(mg/L)		% Removal	
	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang
10 EG	144	128	69%	72%	102	90	78%	81%
20 EG	96	84	79%	82%	84	70	82%	85%
30 EG	72	62	84%	87%	61	54	87%	88%
Kontrol 10 EG	4	4	0%	0%	4	4	0%	0%
Kontrol 20 EG	4	4	0%	0%	4	4	0%	0%
Kontrol 30 EG	4	4	0%	0%	4	4	0%	0%
14 KA	120	95	74%	80%	96	76	79%	84%
25 KA	64	50	86%	89%	72	52	84%	89%
35 KA	64	47	86%	90%	50	26	89%	94%
Kontrol 14 KA	4	4	0%	0%	4	4	0%	0%
Kontrol 25 KA	4	4	0%	0%	4	4	0%	0%
Kontrol 35 KA	4	4	0%	0%	4	4	0%	0%
Kontrol LTT	464	463	0%	0%	463	463	0%	0%

Lanjutan Tabel LB. 5

Reaktor	Hari Ke -12				Hari Ke -15			
	Konsentrasi COD (mg/L)		% Removal		Konsentrasi COD (mg/L)		% Removal	
	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang
10 EG	90	83	81%	82%	73	62	84%	87%
20 EG	86	62	81%	87%	56	50	88%	89%
30 EG	62	42	87%	91%	40	38	91%	92%
Kontrol 10 EG	4	4	0%	0%	3,8	3,7	5%	8%
Kontrol 20 EG	4	4	0%	0%	3,8	3,7	5%	8%
Kontrol 30 EG	4	4	0%	0%	3,7	3,7	8%	8%
14 KA	84	76	82%	84%	64	50	86%	89%
25 KA	70	52	85%	89%	51	42	89%	91%
35 KA	52	20	89%	96%	42	19	91%	96%
Kontrol 14 KA	4	4	0%	0%	3,6	3,5	10%	13%
Kontrol 25 KA	4	4	0%	0%	3,6	3,5	10%	13%
Kontrol 35 KA	4	4	0%	0%	3,6	3,5	10%	13%
Kontrol LTT	464	463	0%	0%	446	440	4%	5%

Lanjutan Tabel LB. 5

Reaktor	Hari Ke- 18				Hari Ke -21			
	Konsentrasi COD(mg/L)		% Removal		Konsentrasi COD (mg/L)		% Removal	
	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang
10 EG	56	47	88%	90%	47	40	90%	91%
20 EG	41	35	91%	92%	35	28	92%	94%
30 EG	23	20	95%	96%	20	19	96%	96%
Kontrol 10 EG	3,7	3,7	8%	8%	3,7	3,7	8%	8%
Kontrol 20 EG	3,7	3,7	8%	8%	3,7	3,7	8%	8%
Kontrol 30 EG	3,7	3,7	8%	8%	3,7	3,7	8%	8%
14 KA	43	30	91%	94%	30	28	94%	94%
25 KA	35	23	92%	95%	23	20	95%	96%
35 KA	19	17	96%	96%	17	17	96%	96%
Kontrol 14 KA	3,5	3,5	13%	13%	3,5	3,5	13%	13%
Kontrol 25 KA	3,5	3,5	13%	13%	3,5	3,5	13%	13%
Kontrol 35 KA	3,5	3,5	13%	13%	3,5	3,5	13%	13%
Kontrol LTT	440	440	5%	5%	440	440	5%	5%

Tabel LB. 6 Data Analisa BOD

Reaktor	Hari Ke- 0				Hari Ke -5			
	Konsentrasi BOD (mg/L)		% Removal		Konsentrasi BOD (mg/L)		% Removal	
	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang
10 EG	397	389	0%	2%	281	204	29%	49%
20 EG	397	378	0%	5%	184	153	54%	61%
30 EG	397	355	0%	11%	152	121	62%	70%
Kontrol 10 EG	2	2	0%	0%	2	2	0%	0%
Kontrol 20 EG	2	2	0%	0%	2	2	0%	0%
Kontrol 30 EG	2	2	0%	0%	2	2	0%	0%
14 KA	397	379	0%	5%	236	151	41%	62%
25 KA	397	364	0%	8%	215	129	46%	68%
35 KA	397	350	0%	12%	100	95	75%	76%
Kontrol 14 KA	2	2	0%	0%	2	2	0%	0%
Kontrol 25 KA	2	2	0%	0%	2	2	0%	0%
Kontrol 35 KA	2	2	0%	0%	2	2	0%	0%
Kontrol LTT	397	396	0%	0%	396	394	0%	1%

Lanjutan Tabel LB. 6

Reaktor	Hari Ke- 10				Hari Ke- 15			
	Konsentrasi BOD (mg/L)		% Removal		Konsentrasi BOD (mg/L)		% Removal	
	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang
10 EG	96	74	76%	81%	50	51	87%	87%
20 EG	81	60	80%	85%	41	41	90%	90%
30 EG	60	41	85%	90%	37	29	91%	93%
Kontrol 10 EG	2	2	0%	0%	2	2	0%	0%
Kontrol 20 EG	2	2	0%	0%	1,9	1,9	5%	5%
Kontrol 30 EG	2	2	0%	0%	1,9	1,9	5%	5%
14 KA	85	74	79%	81%	60	59	85%	85%
25 KA	60	36	85%	91%	52	30	87%	92%
35 KA	60	36	85%	91%	29	24	93%	94%
Kontrol 14 KA	2	2	0%	0%	2	2	0%	0%
Kontrol 25 KA	2	2	0%	0%	1,9	1,9	5%	5%
Kontrol 35 KA	2	2	0%	0%	1,9	1,9	5%	5%
Kontrol LTT	396	394	0%	1%	396	395	0%	1%

Lanjutan Tabel LB. 6

Reaktor	Hari Ke- 20			
	Konsentrasi BOD (mg/L)		% Removal	
	Petang	Terang	Petang	Terang
10 EG	40	33	90%	92%
20 EG	28	15	93%	96%
30 EG	10	8	97%	98%
Kontrol 10 EG	2	2	0%	0%
Kontrol 20 EG	1,9	1,9	5%	5%
Kontrol 30 EG	1,8	1,8	10%	10%
14 KA	26	15	93%	96%
25 KA	20	10	95%	97%
35 KA	9	6	98%	98%
Kontrol 14 KA	2	2	0%	0%
Kontrol 25 KA	1,9	1,9	5%	5%
Kontrol 35 KA	1,8	1,8	10%	10%
Kontrol LTT	395	393	1%	1%

Tabel LB. 7 Data Analisa BOD/COD

Hari	10 EG	20 EG	30 EG	14 KA	25 KA	35 KA	Kontrol
0	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
5	0,89	0,84	0,83	0,89	0,94	0,94	0,85
10	0,67	0,73	0,77	0,71	0,83	0,79	0,85
15	0,49	0,49	0,61	0,63	0,72	0,58	0,86
20	0,44	0,33	0,16	0,31	0,29	0,17	0,85

Hari	10 EG	20 EG	30 EG	14 KA	25 KA	35 KA	Kontrol
0	0,86	0,88	0,86	0,84	0,83	0,85	0,85
5	0,81	0,64	0,70	0,69	0,85	0,83	0,85
10	0,58	0,71	0,66	0,78	0,72	0,77	0,85
15	0,57	0,59	0,54	0,78	0,58	0,92	0,85
20	0,40	0,24	0,19	0,20	0,19	0,30	0,85

Tabel LB. 8 Hasil Analisa Fosfat

Reaktor	Hari Ke- 0		Hari Ke -3		Hari Ke- 6		Hari Ke- 9	
	Konsentrasi Fosfat (mg/L)		Konsentrasi Fosfat (mg/L)		Konsentrasi Fosfat (mg/L)		Konsentrasi Fosfat (mg/L)	
	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang
10 EG	10,3	10	8,51	8,23	7,51	7,36	6,52	6,02
20 EG	10,3	9,3	8,31	8,13	7,02	7,18	6,2	5,82
30 EG	10,3	9	8,06	8,02	6,92	7,02	5,9	5,42
Kontrol 10 EG	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002
Kontrol 20 EG	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002
Kontrol 30 EG	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002
14 KA	10,3	9,42	8	7,61	7,28	7	6,21	5,89
25 KA	10,3	9,26	7,82	7,4	7,1	6,91	6	5,21
35 KA	10,3	8,42	7,51	7,25	6,86	6,46	6,02	5,02
Kontrol 14 KA	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002
Kontrol 25 KA	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002
Kontrol 35 KA	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002
Kontrol LTT	10,3	9,06	9,06	9,04	9,04	9,02	9,02	9,02

Lanjutan Tabel LB. 8

Reaktor	Hari Ke- 12		Hari Ke- 15		Hari Ke- 18		Hari Ke- 21	
	Konsentrasi Fosfat (mg/L)		Konsentrasi Fosfat (mg/L)		Konsentrasi Fosfat (mg/L)		Konsentrasi Fosfat (mg/L)	
	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang	Petang	Terang
10 EG	6,21	6	4,71	3,71	2,78	2,1	1,85	0,6
20 EG	6,02	5,52	4,21	3,32	2,51	1,5	1,02	0,2
30 EG	5,82	5,01	3,8	3	2,28	1	0,09	0,07
Kontrol 10 EG	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Kontrol 20 EG	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Kontrol 30 EG	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
14 KA	6	5,72	5,41	4,89	2,17	1,82	1	0,8
25 KA	5,81	5,41	5,29	4,31	2,04	1,31	0,8	0,09
35 KA	5,51	5,2	5,01	3,89	2	1	0,3	0,07
Kontrol 14 KA	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Kontrol 25 KA	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Kontrol 35 KA	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Kontrol LTT	9	9	8,9	8,8	8,9	8,9	8,9	8,9

Tabel LB. 9 Hasil Analisa pH

PAGI

Hari	10 EG	20 EG	30 EG	K 10 EG	K 20 EG	K 30 EG
0	7,22	6,88	6,94	8,56	6,94	7,56
1	7,18	7,1	6,95	7,27	6,98	7,1
2	7,16	7,14	7,14	7,27	7,14	7,22
3	7,16	7,14	7,14	7,27	7,14	7,22
4	7,53	7,4	7,46	7,57	7,55	7,63
5	7,46	7,25	7,27	7,45	7,43	7,57
6	7,06	6,8	6,83	7,39	7,1	7,03
7	7,23	7,02	7,02	7,19	7,15	7,14
8	6,61	6,36	6,36	6,4	6,51	6,56
9	7,84	7,56	7,31	7,45	7,34	7,19
10	8,56	7,45	7,2	7,43	7,21	7,16

Lanjutan Tabel LB.9

Hari	10 EG	20 EG	30 EG	K 10 EG	K 20 EG	K 30 EG
11	8,01	7,45	7,21	7,34	7,2	7,02
12	7,84	7,56	7,31	7,45	7,34	7,19
13	7,23	7,02	7,02	7,19	7,15	7,14
14	7,3	7,21	7,11	7,12	7,06	7
15	7,45	7,11	7,11	7,12	7,06	7
16	7,36	7,21	7,14	7,1	7,04	7
17	7,3	7,2	7,16	7,6	7	7,04
18	7,36	7,21	7,14	7,1	7,04	7
19	7,29	7,14	7,05	7,06	7,03	6,69
20	7,16	7,1	7,1	7,05	7,01	7,01

Lanjutan Tabel LB. 9

PAGI

Hari	14 KA	25 KA	35 KA	K 14 KA	K 25 KA	K 35 KA	KL
0	6,98	7,19	7,08	7,19	7,27	7,24	6,77
1	7,28	7,23	7,24	7,46	7,38	7,42	7,54
2	7,62	7,56	7,49	7,86	7,84	7,11	8,06
3	7,62	7,56	7,49	7,86	7,84	7,11	8,06
4	7,92	7,75	7,69	8,07	8,03	7,84	8,49
5	8,11	7,83	7,71	8,24	8,08	7,85	8,43
6	7,87	7,55	7,29	7,87	7,55	7,29	8,04
7	8,75	7,57	7,38	8,18	7,76	7,54	8,12
8	7,79	6,9	6,72	7,27	6,91	6,67	7,44
9	7,84	7,67	7,49	6,89	6,43	6,28	8,65
10	7,45	7,28	7,16	7,16	7,05	6,54	8,71

Lanjutan Tabel LB. 9

Hari	14 KA	25 KA	35 KA	K 14 KA	K 25 KA	K 35 KA	KL
11	7,21	7,12	7	7	6,89	6,5	8,84
12	7,84	7,67	7,49	6,89	6,43	6,28	8,65
13	8,75	7,57	7,38	8,18	7,76	7,54	8,12
14	7,42	7,29	7,15	7,24	7,16	7,03	8,03
15	7,42	7,29	7,15	7,24	7,16	7,03	8,03
16	7,36	7,31	7,16	7,2	7,15	7,02	8,65
17	7,21	7,16	7,05	7	7	6,7	8,31
18	7,36	7,31	7,16	7,2	7,15	7,02	8,65
19	7,21	7,16	7,04	7,14	7,1	7,05	8,57
20	7,16	7,1	7,04	7,1	7,03	7,01	8,41

Lanjutan Tabel LB. 9

SORE

Hari	10 EG	20 EG	30 EG	K 10 EG	K 20 EG	K 30 EG
0	6,88	6,86	6,91	8,56	6,94	7,56
1	6,85	6,86	6,1	6,15	6,11	6,99
2	6,69	6,66	6,65	6,85	6,69	6,64
3	6,69	6,66	6,65	6,85	6,69	6,64
4	5,62	5,36	5,44	5,62	5,57	5,52
5	7,65	7,42	7,44	7,45	7,45	7,59
6	6,47	6,03	6,08	6,38	6,4	6,4
7	7,12	6,54	7,14	7,23	6,54	6,31
8	6,31	6,2	6,14	6	6,31	6,25
9	7,56	7,31	7,19	7,27	7,04	7,04
10	7,45	7,26	7,13	7,21	7,11	7,11

Lanjutan Tabel LB. 9

Hari	10 EG	20 EG	30 EG	K 10 EG	K 20 EG	K 30 EG
11	7,56	7,15	7,01	7,17	7,02	7,02
12	7,56	7,31	7,19	7,27	7,04	7,04
13	7,12	6,54	7,14	7,23	6,54	6,31
14	7,11	7,06	7	7,12	7,03	7
15	7,11	7,06	7	7,12	7,03	7
16	7,11	7,11	7,04	7,04	7,04	7
17	7	6,8	6,8	7,2	6,5	6,5
18	7,11	7,11	7,04	7,04	7,04	7
19	7,1	7,06	7,01	7,01	7	7
20	7,08	7,04	7	7	7	7

Lanjutan Tabel LB. 9

SORE

Hari	14 KA	25 KA	35 KA	K 14 KA	K 25 KA	K 35 KA	KL
0	6,98	7,19	7,08	7,19	7,27	7,24	6,77
1	7,1	7,06	7,02	6,98	6,06	7	6,07
2	7,37	7,33	7,26	7,82	7,81	7,8	7,52
3	7,37	7,33	7,26	7,82	7,81	7,8	7,52
4	7,19	5,39	5,87	6,5	6,46	6,11	6,29
5	8,65	8,3	7,89	8,68	8,44	8,5	8,66
6	8,31	6,81	6,69	7,7	7,16	6,76	7,33
7	7,52	7,1	7,24	7,7	7,16	7,21	7,85
8	7,31	6,21	6,34	7	6,53	6,32	7,29
9	7,56	7,3	7,21	6,56	6,32	6,17	7,89
10	7,21	7,21	7,1	7,05	7,03	7	7,52

Lanjutan Tabel LB. 9

Hari	14 KA	25 KA	35 KA	K 14 KA	K 25 KA	K 35 KA	KL
11	7,14	7,12	7,05	6,56	6,32	6,17	8,4
12	7,56	7,3	7,21	6,56	6,32	6,17	7,89
13	7,52	7,1	7,24	7,7	7,16	7,21	7,85
14	7,27	7,16	7,03	7,11	7,08	7,08	8,03
15	7,27	7,16	7,03	7,11	7,08	7,08	8,03
16	7,23	7,17	7,01	7,13	7,04	7,01	8,46
17	7,2	7,17	7,01	7,13	7,04	7,01	8,46
18	7,2	7,17	7,01	7,13	7,04	7,01	8,46
19	7,18	7,1	7	7,1	7	7	8,42
20	7,14	7,03	7	7,05	7	7	8,31

Tabel LB. 10 Hasil Analisa Suhu

PAGI

Hari	10 EG	20 EG	30 EG	K 10 EG	K 20 EG	K 30 EG
0	27	28	27	28	27	29
1	23	27	23	26	27	27
2	26	23	27	27	27	26
3	27	27	26	26	27	26
4	26	27	23	26	27	27
5	27	27	27	27	27	26
6	26	25	26	26	26	26
7	27	27	27	27	27	27
8	28	28	28	28	28	28
9	26	25	26	26	26	26
10	27	27	27	27	27	27

Lanjutan Tabel LB. 10

Hari	10 EG	20 EG	30 EG	K 10 EG	K 20 EG	K 30 EG
11	28	28	28	28	28	28
12	26	26	25	27	27	27
13	26	26,5	25	27	27	27
14	26	26,5	25	27	27	27
15	27	26	26	26	26	25
16	25	25	25	25	25	25
17	26	26	26	25	24	24
18	25	25	25	25	25	25
19	25	25	25	25	25	25
20	26	26	26	25	25	25

Lanjutan Tabel LB. 10

PAGI

Hari	14 KA	25 KA	35 KA	K 14 KA	K 25 KA	K 35 KA	KL
0	29	29	28	28	29	29	28
1	26	26	23	26	26	27	26
2	27	27	27	26	23	27	26
3	28	27	26	26	25	25	28
4	26	26	27	26	27	27	26
5	27	27	27	27	27	27	26
6	26	26	26	26,5	26	26	26
7	28	28	28	28	27	27	27
8	28	28	28	28	28	28	28
9	26	26	26	26,5	26	26	26
10	28	28	28	28	27	27	27

Lanjutan Tabel LB. 10

Hari	14 KA	25 KA	35 KA	K 14 KA	K 25 KA	K 35 KA	KL
11	28	28	28	28	28	28	28
12	25	25	25	28	28	28	28
13	26	26	25	27	27	27	29
14	26	26	25	27	27	27	29
15	26	26	25	27	27	27	27
16	25	25	25	25	25	25	26
17	26	26	25	24	24	24	26
18	25	25	25	25	25	25	25
19	25	25	25	25	25	25	25
20	26	26	25	25	25	25	26

Lanjutan Tabel LB. 10

SORE

Hari	10 EG	20 EG	30 EG	K 10 EG	K 20 EG	K 30 EG
0	28	30	27	29	29	28
1	29	29	28	26	29	29
2	30	29	29	30	29	29
3	30	29	28	30	29	29
4	29	29	28	30	29	29
5	26,5	27	27	27	27	27
6	28	29	28	29	28	28
7	28	29	30	29	28	28
8	30	29	29	29	28	28
9	28	29	30	29	28	28
10	29	29	29	29	29	29

Lanjutan Tabel LB. 10

Hari	10 EG	20 EG	30 EG	K 10 EG	K 20 EG	K 30 EG
11	30	29	29	29	28	28
12	28	29	30	29	28	28
13	29	29	29	29	29	29
14	31	31	30	30	30	30
15	30	29	29	29	29	29
16	30	30	30	30	30	30
17	29	29	29	29	29	29
18	28	28	28	28	28	28
19	29	29	29	29	29	29
20	29	29	29	29	29	29

Lanjutan Tabel LB.10

SORE

Hari	14 KA	25 KA	35 KA	K 14 KA	K 25 KA	K 35 KA	KL
0	30	29	30	29	29	29	29
1	26	29	30	26	30	29	26
2	30	30	30	31	25	30	30
3	30	30	30	31	25	30	30
4	29	30	30	30	30	29	30
5	27	27	27	27	27	27	27
6	30	29	28	30	29	28	30
7	30	30	29	29	29	28	30
8	30	30	29	29	29	29	31
9	30	30	29	29	29	28	30
10	30	30	29	29	29	28	29

Lanjutan Tabel LB.10

Hari	14 KA	25 KA	35 KA	K 14 KA	K 25 KA	K 35 KA	KL
11	30	30	29	29	29	29	31
12	30	30	29	29	29	28	30
13	30	30	29	29	29	28	29
14	30	30	30	30	30	30	30
15	29	29	29	29	29	29	29
16	30	30	30	30	30	30	31
17	28	28	28	29	29	29	31
18	28	28	28	28	28	28	30
19	28	28	28	29	29	29	30
20	28	28	28	29	29	29	30

LAMPIRAN C
DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar LC. 1 Analisa BOD



Gambar LC. 2 Analisa COD



Gambar LC. 3 Analisa Fosfat



Gambar LC. 4 Analisa Suhu dan pH



Gambar LC. 5 Reaktor Uji Fitoremediasi

BIOGRAFI PENULIS



Dea Ghiovani Raissa dilahirkan di Surabaya, Jawa Timur pada tanggal 19 Juni 1995. Penulis merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Mutiara Islam, SDN Kertajaya XII, SMPN 1 Surabaya dan SMAN 20 Surabaya. Pada Tahun 2013, penulis melanjutkan kuliah di Teknik Lingkungan FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis pernah aktif sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) pada tahun 2015-2016 sebagai staff Departmen Kewirausahaan. Penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan seminar yang diselenggarakan di Jurusan, Institut, dan Nasional. Penulis juga pernah mengikuti kegiatan sebagai pantia Hari air sedunia pada tahun 2014 dan 2015, dan mengikuti kegiatan panitia Environation pada tahun 2016. Pada Tahun 2016, penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT Petrokimia Gresik di Departemen K3 dan Lingkungan. Bagi pembaca yang memiliki saran dan kritik maka bisa menghubungi penulis melalui email dea.ghiovani@gmail.com